

**Der Einfluss erosiver Getränke auf die Stabilität von Fluorid
auf und in Schmelz in situ**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Giessen

vorgelegt von Jung, Simone

aus Köln

Giessen 2004

**Der Einfluss erosiver Getränke auf die Stabilität von Fluorid
auf und in Schmelz in situ**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin

des Fachbereichs Medizin

der Justus-Liebig-Universität Giessen

vorgelegt von Jung, Simone

aus Köln

Giessen 2004

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Zahnerhaltungskunde und präventive Zahnheilkunde

Direktor: Prof. Dr. Klimek
des Universitätsklinikums Giessen

Gutachter: Prof. Dr. Klimek
Gutachter: PD Dr.Dr. Rödelsperger

Tag der Disputation: 31.01.2005

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
2	Literaturübersicht	7
2.1	Erosionen	7
2.1.1	Definition und Ätiologie	7
2.1.2	Extrinsische Ursachen für die Entstehung von Erosionen	8
2.1.3	Intrinsische Ursachen für die Entstehung von Erosionen	13
2.1.4	Erscheinungsform und Histologie der Erosionen	16
2.1.5	Prävalenz von Erosionen	18
2.1.6	Therapie von Erosionen	21
3	Material und Methode	28
3.1	Vorversuche zum Mikrodrill-Verfahren	28
3.2	Probenherstellung und Fluoridierung	29
3.3	Aufbau und Durchführung der in situ Versuche	32
3.3.1	Auswahl und Vorbereitung der Probanden	32
3.3.2	Ablauf der in situ Versuche	33
3.4	Bestimmung des Fluoridgehaltes	38
3.4.1	Aufbau der Messapparatur	38
3.4.2	Messvorgang und Bestimmung von KOH-löslichem Fluorid	38
3.5	Mikrodrill-Verfahren	39
3.5.1	Bestimmung von strukturell gebundenem Fluorid	41
3.6	Statistik	42
3.7	Materialien- und Chemikalienliste	44

4	Ergebnisse	46
4.1	Ergebnisse der in situ Versuche für KOH-lösliches Fluorid	46
4.1.1	Vergleich der Ergebnisse der beiden in situ Versuchsdurchgänge für KOH-lösliches Fluorid	49
4.2	Ergebnisse der in situ Versuche für strukturell gebundenes Fluorid	50
4.2.2	Vergleich der Ergebnisse der beiden in situ Versuchsdurchgänge für strukturell gebundenes Fluorid	53
5	Diskussion	54
5.1	Versuchsaufbau und -durchführung	54
5.1.1	Probenmaterial	54
5.1.2	Fluoridierung der Schmelzproben	56
5.1.3	Erosive Demineralisation	57
5.2	Diskussion der Ergebnisse	62
6	Zusammenfassung	77
7	Literaturverzeichnis	81
8	Anhang	103
8.1	Danksagung	103
8.2	Lebenslauf	104

1 Einleitung

In einer Zeit, in der die Kariesprävalenz rückläufig ist, scheinen immer mehr Patienten Erosionen an ihren Zähnen aufzuweisen. Erosionen sind ein pathologischer, oberflächlich lokalisierter Zahnhartsubstanzverlust, verursacht durch die Einwirkung von Säuren ohne Mitwirkung von Mikroorganismen (Zipkin und McClure, 1949).

Epidemiologische Studien beobachteten im letzten Jahrzehnt eine Verdopplung erosiv bedingter Zahnhartsubstanzdefekte. Bei Kindern und Jugendlichen zeigte sich schon im Kindesalter bei Milchzähnen eine Prävalenz von 73,6% (Ganss et al., 2001a). Auch bei Erwachsenen zeigte sich in der Altersgruppe der 26 - 30-jährigen, dass bis zu 30% und in der Altersgruppe der 46 - 50-jährigen über 40% mindestens einen Zahn mit einer schweren okklusalen Läsion aufwiesen (Lussi et al., 1991). Im Vergleich dazu kann die Erosionsprävalenz in Risikogruppen wie Rohköstler, Laktovegetarier oder Personen mit Essstörungen sogar bis zu 90% betragen (Linkosalo und Markkanen, 1985; Scheutzel, 1996; Ganss et al., 1999a).

Diese erschreckende Entwicklung kann mit dem Konsum saurer Erfrischungsgetränke in Verbindung gebracht werden. Eine Aufstellung des Bundesverbandes der Deutschen Erfrischungs-Getränkeindustrie e.V. aus dem Jahr 1999 zeigt eine Zunahme des Konsums von Limonaden und Fruchtsaftgetränken von 1970 - 1991 um 88% auf 44,6 Liter pro Kopf/Jahr. Der Konsum von Cola-Getränken hat sich im selben Zeitraum mehr als verdoppelt, so dass der Pro-Kopf-Verbrauch im Jahr mehr als 40 Liter beträgt.

In der Regel bedürfen erosive Läsionen bei geeigneter kausaler oder symptomatischer Therapie keiner restaurativen Therapie. Die kausale Therapie besteht in der Vermeidung der sauren Noxe. Bei Personen, die zu einer Risikogruppe gehören, ist dies oftmals nicht möglich. Im Rahmen der symptomatischen Therapie erfolgt die Anwendung lokal applizierbarer Fluoride. Als Wirkmechanismus wird die Präzipitation einer kalziumfluorid-ähnlichen Deckschicht angenommen. Diese Präzipitate können bei einer Säureeinwirkung in Lösung gehen, bevor eine Erosion der darunter liegenden Zahnhartsubstanz auftritt. Daraus folgt allerdings, dass kalziumfluoridähnliche Deckschichten unter erosiven

Bedingungen möglicherweise schnell verloren gehen. Es gibt jedoch Hinweise darauf, dass solche Deckschichten in situ stabiler sind als in vitro (Saxegaard et al., 1988), so dass eine Fluoridapplikation in situ wesentlich wirksamer sein könnte. Die Präzipitation solcher Verbindungen auf Schmelzflächen wurde schon häufig untersucht, jedoch ist allgemein wenig über die Stabilität solcher kalziumfluoridähnlicher Deckschichten unter sauren Bedingungen bekannt. Rudolph (2001) untersuchte in einer in situ Studie diesen Zusammenhang und kam dabei zu einem überraschenden Ergebnis. Es war zu beobachten, dass die erodierten Schmelzproben nach sieben Versuchstagen einen signifikant höheren Fluoridgehalt aufwiesen als die nicht erodierten Schmelzproben. Daraus wurde geschlossen, dass kalziumfluoridähnliche Deckschichten unter erosiven Bedingungen in situ recht stabil sind.

Das Ziel der vorliegenden Studie war, die Stabilität der kalziumfluoridähnlichen Deckschicht und des strukturell gebundenen Fluorids in situ nach einer einmaligen Fluoridapplikation unter wiederholten erosiven Bedingungen auf und in Schmelz zu untersuchen. Ein weiteres Ziel war zu untersuchen, ob eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch Wiederholung der in situ Studie möglich ist. Diese Resultate sollen helfen im Rahmen der symptomatischen Therapie Empfehlungen zur Häufigkeit von Fluoridierungsmaßnahmen bei Patienten mit aktiven Erosionen zu geben.

2 Literaturübersicht

2.1 Erosionen

2.1.1 Definition und Ätiologie

Erosionen des Zahnschmelzes sind definiert als ein oberflächlicher Verlust von Zahnhartsubstanz bedingt durch einen chemischen Prozess ohne Beteiligung von Bakterien. Durch direkte und häufige Säureeinwirkung kommt es zu einer flächenhaften Demineralisation der Schmelzoberfläche. Der Zahnhartsubstanzverlust verläuft meistens schmerzlos. Durch einen langsamen und chronischen Verlauf kommt es im fortgeschrittenem Stadium der Erosion zu einer Dentinbeteiligung und abschließender irreversibler Schädigung der Pulpa (Pindborg, 1970; Schweizer-Hirt et al., 1978; Hotz, 1987). Eine Erosion ist per definitionem von keilförmigen Defekten sowie Attrition und Abrasion abzugrenzen, bei denen es sich um eine mechanische Abnutzung der Zähne handelt (Johnson et al., 1987; Hellwig et al., 1999; Lussi et al., 2000a). In Tabelle 1 werden die verschiedenen Ursachen für Erosionen gezeigt. Sie werden in zwei Gruppen unterteilt, die extrinsischen und die intrinsischen Ursachen (Scheutzel, 1996; Zero, 1996).

Tab. 1: Ursachen der Erosion

Extrinsische Faktoren	Intrinsische Faktoren
Berufsbedingte Säureexposition	Chronisches Erbrechen
Ernährungsgewohnheiten	Gastroösophageale Dysfunktionen
Einnahme von Medikamenten und Vitaminpräparaten	

2.1.2 Extrinsische Ursachen für die Entstehung von Erosionen

1. Berufsbedingte Säureexposition

In einigen Industriezweigen werden Säuren wie Schwefel-, Salz- oder Salpetersäure im Verlauf verschiedener Fertigungsprozesse verwendet. Dabei entwickeln sich Säuredämpfe oder Aerosole, die über die Atemluft aufgenommen werden können und eine direkte Säureexposition der Zähne bewirken. Davon sind beispielsweise Industriearbeiter in Batteriefabriken, Düngemittelfabriken und Munitionsfabriken sowie Drucker, Laboranten und Arbeiter in der Galvanoindustrie betroffen. Bei Luftmessungen in einer deutschen Batteriefabrik wurde eine Konzentration von 0,4 bis 4,1 mg/m³ für Schwefelsäure gemessen. Die Arbeiter berichteten über verschiedene Symptome, wie zum Beispiel spitze, dünne oder kurze Zähne. Es wird diskutiert, dass diese Werte in Bezug zu den beklagten Symptomen der Arbeiter stehen. Bei 31% der Industriearbeiter wurden Zeichen von Erosionen festgestellt. Da keine Kontrollgruppe untersucht wurde, sind diese Ergebnisse jedoch schwierig zu bewerten (Petersen und Gormsen, 1991). Eine Studie in einer Düngemittelfabrik zeigte, dass 63,2% der Arbeiter, die mit Schwefelsäure (1 bis 5 mg/m³) belastet waren, mindestens einen Zahn mit einer erosiven Läsion hatten, in der nicht exponierten Gruppe waren nur bei 37,7% der Arbeiter säurebedingte Zahnhartsubstanzverluste zu beobachten (Tuominen et al., 1991). Da die Frontzähne den Aerosolen am stärksten ausgesetzt sind, finden sich typischerweise Erosionen an den Labialflächen (Petersen und Gormsen, 1991; Tuominen et al., 1991; Tuominen und Tuominen, 1991).

Eine andere Berufsgruppe, die ein potentiellies Erosionsrisiko trägt, sind Weinverkoster. Der pH-Wert für Weißweine und Rotweine liegt zwischen 3,0 bis 3,6. Weinverkoster testen im Durchschnitt 20 bis 50 unterschiedliche Weine täglich. In einer schwedischen Studie konnte gezeigt werden, dass die Dauer der Berufstätigkeit mit dem Schweregrad der Zahnhartsubstanzdefekte korreliert. Die Erosionen sind hauptsächlich an den labio-zervikalen Flächen der oberen Schneide- und Eckzähne lokalisiert (Chaudhry et al., 1997; Wiktorsson et al., 1997).

In seltenen Fällen können Wettkampfschwimmer von Erosionen betroffen sein.

Ein 21-jähriger Wettkampfschwimmer aus der deutschen Nationalmannschaft berichtete über ästhetische Veränderungen an seinen Zähnen. Während eines Aufenthaltes von 27 Tagen auf den Kanarischen Inseln trainierte er 4 Stunden pro Tag und bemerkte im Laufe

der Zeit eine Veränderung an den oberen Frontzähnen. Andere Schwimmer klagten über Irritationen und Brennen der Augen und Nase während der Trainingseinheiten. Bei der intraoralen Inspektion zeigten sich an allen Zähnen Erosionen des Zahnschmelzes. Am stärksten betroffen waren die oberen Inzisivi (Geurtsen, 2000). In diesem Fall wurde eine inadäquate Überwachung des pH-Wertes im Wasser nachgewiesen. In großen Schwimmbädern wird eine Chlorgasdesinfektion durchgeführt, dabei entsteht Salzsäure, die neutralisiert und gepuffert werden muss, um den empfohlenen pH-Wert beizubehalten (Centerwall et al., 1986; Geurtsen, 2000).

2. Ernährungsgewohnheiten

In der Literatur gibt es eine Reihe von Studien, die sich mit dem Einfluss von sauren Nahrungsmitteln und deren Auswirkung auf die Zahnhartsubstanz beschäftigen haben. Zu den potentiell erosiven Lebensmitteln gehören beispielsweise Zitrusfrüchte, Fruchtsäfte, essighaltige Nahrungsmittel, Limonaden und Sportgetränke. In einigen Personengruppen wurden relativ hohe Prävalenzwerte gefunden, bestimmte Ernährungsgewohnheiten oder extreme Diätformen begünstigen die Entwicklung erosiver Zahnhartsubstanzdefekte. So fanden sich in einer Gruppe von 26 Lactovegetariern, deren Ernährung einen hohen Anteil an Obst enthält, im Vergleich mit einer dem Geschlecht und Alter vergleichbaren Kontrollgruppe bei 76,9% der Lactovegetarier (Kontrollgruppe 0%) erosiv bedingte Defekte unterschiedlichen Schweregrads. Die erosiven Defekte fanden sich vornehmlich im Bereich der Okklusal- und Lingualflächen (Linkosalo und Markkanen, 1985). Bei Rohköstlern konnten ebenfalls vermehrt Erosionen nachgewiesen werden (Ganss et al., 1999a). In dieser Studie mit 130 Personen wurden die Ernährungsgewohnheiten mit Hilfe von Fragebögen und Ernährungsprotokollen dokumentiert. Der Verzehr von Früchten betrug rund 62% der gesamten Nahrung, dabei lag die durchschnittliche Häufigkeit bei 4,8 mal pro Tag. Dies entsprach einem durchschnittlichen Konsum von 9,5 kg Früchten pro Woche. Nur 2,3% der Rohköstler hatten keine erosiven Läsionen. Die übrigen Teilnehmer litten mit 37,2% unter mittelschweren Zahnerosionen und mit 60,5% unter schweren Zahnerosionen. Neben der Häufigkeit von sauren Mahlzeiten kann auch der Zeitpunkt eine Rolle spielen. Beispielsweise stellt der Verzehr

von sauren Nahrungsmitteln vor dem Zubettgehen aufgrund des verminderten Speichelflusses ein erhöhtes Erosionsrisiko dar (Millward et al., 1994). Diese Resultate entsprechen denen von Järvinen et al. (1991) und Lussi et al. (1991), die ebenfalls eine enge Beziehung zwischen dem Verzehr saurer Lebensmittel und Erosionen feststellen konnten.

Im Rahmen von Ernährungsberatungen wird über die Wirkung erosiver Nahrungsmittel aufgeklärt, häufig werden diese Ratschläge ignoriert oder als nicht wichtig genug empfunden, da es zu keiner direkten Beeinträchtigung, wie zum Beispiel Schmerzsensation, kommt. In einer Schweizer Langzeitstudie über 6 Jahre wurde das Fortschreiten und die Risikofaktoren für Erosionen untersucht. Die teilnehmenden Probanden wurden in zwei Altersgruppen (26-30 und 46-50 Jahre) unterteilt. Bei der Nachuntersuchung zeigte sich eine signifikante Progression der Defekte. Dies wurde besonders bei der älteren Patientengruppe deutlich, in der die Häufigkeit von Erosionen im Bereich der okklusalen und fazialen Flächen von 8% auf 26% anstieg. Dies korreliert mit dem Konsum saurer Nahrungsmittel und Getränke sowie dem Alter. Überraschenderweise waren die Ernährungsgewohnheiten nicht umgestellt worden, trotz umfangreicher Aufklärung über erosive Nahrungsmittel während der ersten Untersuchung (Lussi et al., 2000a).

Der kritische pH-Wert beträgt für Zahnschmelz 5,2-5,7. Da jedes Nahrungsmittel einen anderen pH-Wert besitzt, wurden einige in vitro Untersuchungen mit verschiedenen Nahrungsmitteln durchgeführt, um einen möglichen pH-Wert Bereich zu ermitteln, in dem erste Anzeichen von Erosionen erkennbar sind. Es wird diskutiert, dass verschiedene Säuren oder Mineralzusätze einen Einfluss auf die Entstehung von Erosionen haben. In einem in vitro Modell wurden die Oberflächen erodierter Zähne profilometrisch untersucht, nachdem sie verschiedenen Nahrungsmitteln ausgesetzt waren. Die Ergebnisse zeigten, dass Nahrungsmittel mit einem pH-Wert über 4 keine Erosion verursachen, während Nahrungsmittel mit einem pH-Wert unter 4 eine deutlich erosive Wirkung haben (Rytømaa et al., 1988). Diese Resultate entsprechen denen von Meurman et al. (1990) und Meurman und Frank (1991). In Vergleichsstudien wurde ein apfelsäurehaltiges Sportgetränk, ein Sportgetränk mit Zitronensäure und ein phosphorsäurehaltiges Cola-Getränk auf Erosivität untersucht. Die Unterschiede der erosiven Wirkung konnten nicht auf die Art der Säuren zurückgeführt werden, sondern nur auf die unterschiedlichen pH-Werte.

Ernährungsbedingte Erosionen werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst. In einer in vitro Studie mit humanen Schmelzproben konnte ergänzend gezeigt werden, dass neben dem pH-Wert auch der Gehalt an titrierbarer Säure, der Phosphat- sowie der Kalziumgehalt eine wichtige Rolle bei der Entstehung von Erosionen spielen. Durch Messungen der Oberflächenhärte nach einer Expositionszeit von 20 Minuten in verschiedenen Getränken konnte in Bezug auf die Erosivität der einzelnen Nahrungsmittel eine Rangordnung erstellt werden. Die signifikanteste Abnahme der Oberflächenhärte trat bei den Proben auf, die in einer kohlensäurehaltigen Zitronenlimonade lagen, gefolgt von Grapefruitsaft, Apfelsaft und Salatdressing. Ein Sportgetränk mit einem hohen Phosphatgehalt sowie ein Molke- und ein Joghurtgetränk wiesen kein erosives Potential auf (Lussi et al., 1993). In einer aktuellen in vitro Studie konnten diese Resultate bestätigt werden. Nach einer Exposition von Milch- und bleibenden Zähnen in Joghurt konnte eine Zunahme der Oberflächenhärte beobachtet werden. Joghurt ist ein Beispiel für ein Nahrungsmittel, das trotz eines niedrigen pH-Werts von 4 kein erosives Potential aufweist. Hohe Phosphat- und Kalziumgehalte in Joghurt und Joghurtgetränken scheinen eine schützende Wirkung auf die Zahnhartsubstanz zu haben (Lussi et al., 2000b).

Durch Mineralzusätze in Getränken konnte ebenfalls ein positiver Einfluss auf Erosionen festgestellt werden. Der Zusatz von 40 mmol/l Kalzium und 30 mmol/l Phosphat in einem Orangensaftgetränk mit einem pH-Wert 4 zeigte eine ausgeprägte präventive Wirkung gegen Erosionen (Larsen und Nyvad, 1999; Parry et al., 2001). Die Studien lassen die Schlussfolgerung zu, dass Erosionen dann auftreten, wenn Zähne einer Flüssigkeit ausgesetzt sind, die untersättigt in Bezug auf Hydroxyl- und Fluorapatit ist. Folglich könne die Erosivität eines Getränks von seinem Sättigungsgrad mit Mineralien abhängen. Bei verschiedenen kohlensäurehaltigen Getränken und Fruchtsäften konnte nachgewiesen werden, dass der Kalziumgehalt das Erosionspotential deutlich herabsetzt. Ein Diät-Cola Getränk wirkte aufgrund seines hohen Kalziumgehaltes nur wenig erosiv (Grobler et al., 1990).

Atypische Trinkgewohnheiten können ebenfalls das Erosionspotential beeinflussen, wie zum Beispiel die Angewohnheit, das Getränk im Mund zu halten oder damit zu spülen, bevor es heruntergeschluckt wird. Dies führt zu einer verlängerten Expositionszeit der Zähne mit dem erosiv wirkenden Getränk (Harrison und Roder, 1991; Johansson et al., 2002). Videofluoroskopische Studien konnten zeigen, dass verschiedene Trinkgewohnheiten einen Einfluss auf die Kontaktzeit von Getränken auf Zahnoberflächen haben. Beim Trinken aus einer Tasse kamen die Frontzähne stärker mit dem Getränk in

Berührung, als dies beim Trinken mit einem weitleumigen Strohhalm der Fall war, hier überwog der Kontakt im Bereich der Molaren. Bei der Platzierung eines Strohhalmes mit einer engen Öffnung in den hinteren Bereich des Mundes, reduzierte dies den Flüssigkeitskontakt sowohl mit den Frontzähnen als auch mit den Molaren (Edwards et al., 1998). Einige Autoren berichteten über Fallstudien von Kindern mit ungewöhnlichen Trinkgewohnheiten. Ein Kind hatte die Angewohnheit, beim Trinken den Strohhalm im Bereich der Labialflächen zu platzieren, ein anderes Kind wiederum trank Orangensaft aus einem Kindertrinkbecher und platzierte dabei die Trinköffnung des Bechers labial der Schneidezähne. Dadurch fanden sich in beiden Fällen Erosionen an den oberen Frontzähnen (Mackie und Hobson, 1986; Smith und Shaw, 1987).

3. Einnahme von sauren Medikamenten und Vitaminpräparaten

Aufgrund eines gesteigerten Gesundheitsbewusstseins hat der Gebrauch von Vitamin-C Präparaten zugenommen. Untersuchungen ergaben, dass diese Präparate potentiell erosiv wirken. Die Häufigkeit, die Dauer und die Darreichungsform dieser Präparate spielen für die Entstehung von Erosionen eine entscheidende Rolle.

In einer in vitro Studie wurde das Demineralisationspotential verschiedener Vitamin-C Präparate untersucht, dabei wurden Schmelzproben von Rinderzähnen für 100 Stunden in 100 ml Vitamin-C Testlösungen eingetaucht. Es zeigte sich, dass alle untersuchten Präparate potentiell erosiv sind, wenn ein direkter Kontakt zur Zahnoberfläche besteht. Alle Präparate wiesen einen pH-Wert von unter 5,5 auf, dieser Wert liegt im kritischen Bereich für Zahnschmelz (Meurman und Murtomaa, 1986).

Eine Fallstudie aus Amerika berichtete über eine 30-jährige Frau mit schweren Erosionen im Bereich der Seitenzähne. Sie kaute seit 3 Jahren täglich 3 Tabletten eines Vitamin-C Präparates. Die Bestimmung des pH-Werts dieser Vitamin-C-Tabletten ergab einen Wert von 1,92 und entspricht damit etwa dem pH-Wert der Magensäure (pH = 1-1,5) (Giunta, 1983).

Saure Medikamente wie zum Beispiel Acetylsalicylsäure (Aspirin) können erosive Läsionen verursachen, besonders bei der Einnahme von hohen Dosen über einen längeren Zeitraum konnten schwere Zahnhartsubstanzdefekte beobachtet werden. In einer in vitro Studie mit humanen Schmelzproben zeigte sich, dass die erosiven Veränderungen an den Schmelzoberflächen abhängig von der Expositionszeit und der Säurekonzentration waren. Der Zusatz von Kalziumkarbonat als Puffersubstanz hatte einen positiven Einfluss auf das Erosionspotential von Acetylsalicylsäure. Das Kalziumkarbonat bewirkte eine Anhebung des pH-Wertes der Aspirinlösungen, wodurch erosive Läsionen am Zahnschmelz nahezu verhindert werden konnten (Hannig und Albers, 1993). Im Rahmen einer juvenilen rheumatoiden Arthritistherapie werden hohe Dosen von Acetylsalicylsäure über einen längeren Zeitraum eingenommen. Es wird diskutiert, dass die Darreichungsform der Acetylsalicylsäure Einfluss auf die Entstehung von Erosionen hat. In einer Fallstudie wurden 42 Kinder mit juveniler rheumatoider Arthritis untersucht. Die Acetylsalicylsäure wurde in zwei unterschiedlichen Formen verabreicht, entweder in Form von Kautabletten oder in toto geschluckt. Die Kinder, die Aspirin in Form von Kautabletten zu sich nahmen, wiesen massive Schmelzerosionen auf den Okklusalfächen auf, wohingegen die Kinder, die Aspirintabletten in toto schluckten, keine Erosionen aufwiesen (Sullivan und Kramer, 1983).

2.1.3 Intrinsische Ursachen für die Entstehung von Erosionen

1. Chronisches Erbrechen

Die häufigste intrinsische Ursache für Zahnerosionen ist chronisches Erbrechen. Ausgelöst wird dies zum Beispiel durch Essstörungen wie Anorexia nervosa (Magersucht) und Bulimia nervosa (Ess-Brech-Sucht) oder durch stressbedingtes psychosomatisches Erbrechen. Bei psychogenen Essstörungen wird das Erbrechen durch den Patienten selbst induziert, aus Angst vor Übergewicht oder um das Gewicht nach übermäßiger Nahrungsaufnahme zu halten (Cooper et al., 1987; Scheutzel, 1992). Die Entstehung von Zahnerosionen setzt eine ausreichend lange, chronische Säureeinwirkung voraus. Klinische Manifestationen werden erst offensichtlich, wenn die

Magensäure in regelmäßigen Abständen einige Male in der Woche über einen Zeitraum von ein bis zwei Jahren auf die Zahnhartsubstanz einwirkte (Scheutzel, 1992).

35 Patienten mit diagnostizierter Essstörung und Zahnerosionen wurden nach einem Jahr nochmals untersucht, um Veränderungen aufzuzeigen. Fast 50% der Probanden wiesen ein Fortschreiten der Erosionen auf (Öhrn et al., 2000). Die erosiven Läsionen finden sich typischerweise an den palatinalen Flächen der Schneidezähne und auf den Okklusalfächen der Oberkieferseitenzähne. Besteht regelmäßiges Erbrechen über einen Zeitraum von mehreren Jahren treten auch vestibulär erosive Läsionen auf (Scheutzel und Meermann, 1991). Die Erosionsprävalenz beträgt bei Patienten mit Anorexia nervosa 20% und bei Patienten mit Bulimia nervosa 90% (Wruble et al., 1982; Scheutzel, 1992; Scheutzel und Meermann, 1994; Robb et al., 1995). Erosionen entstehen durch einen wiederholten Kontakt der Zähne mit Magensäure, die mit 1 - 1,5 einen sehr niedrigen pH-Wert hat (Scheutzel, 1996). Das Erosionsrisiko für Patienten mit chronischem Erbrechen ist 31 mal größer (Järvinen et al., 1991). Einige Studien konnten zeigen, dass bei Essstörungen eine Reihe von Faktoren eine wichtige Rolle bei der Entstehung erosiver Läsionen spielen, wie zum Beispiel die Zeit zwischen der Nahrungsaufnahme und dem Erbrechen, die Häufigkeit des Erbrechens, Reflux, die Speichelfließrate oder auch anschließende Mundhygienemaßnahmen (Robb et al., 1995; Meurman und Ten Cate, 1996; Nunn, 1996; Rytømaa et al., 1998 ; Öhrn et al., 1999; Öhrn et al., 2000).

2. Gastroösophageale Dysfunktionen

Zu den gastroösophagealen Dysfunktionen zählt der gastroösophageale Reflux sowie die habituelle Regurgitation. Beide Symptome bewirken eine Exposition der Zähne mit Magensäure und können Zahnerosionen verursachen. Die Menge der Magensäure, die dabei in die Mundhöhle gelangt ist geringer als beim chronischen Erbrechen.

Dadurch scheint das Erosionsrisiko vergleichsweise geringer. Einige Studien untersuchten den Zusammenhang zwischen Erosionen und gastroösophagealen Störungen und kamen dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen (Järvinen et al., 1988; Gregory-Head et al., 2000). Bei Kindern die unter Regurgitation oder gastroösophagealem Reflux litten, konnten

bereits im Milchgebiss erosive Läsionen beobachtet werden. In einem Fallbericht aus Denver (Colorado) wurde über ein acht Jahre altes Mädchen mit schweren Erosionen an den Milchzähnen berichtet, die durch asymptomatischen gastroösophagealen Reflux besonders nachts verursacht wurden. Durch die häufige Exposition der Zähne mit Magensäure waren die Zähne beider Kiefer betroffen (Taylor et al., 1992). Diese Beobachtung konnte von Shaw et al. (1998) bestätigt werden, die ebenfalls bei Kindern mit nachgewiesenem gastroösophagealen Reflux schwere Erosionen feststellen konnten.

Bei Erwachsenen wird die Entstehung von Erosionen bedingt durch gastroösophageale Dysfunktionen kontrovers diskutiert. In einer Untersuchung von 109 Patienten mit gastrointestinalen Störungen wurden bei 20 Patienten ein gastroösophagealer Reflux, bei 24 ein Duodenulkus und bei 17 Patienten ein Magenulkus diagnostiziert. Die übrigen 48 Patienten wurden nach einer Cholezystektomie postoperativ untersucht. Die Erosionsprävalenz war mit 6,4% relativ gering. Erosive Veränderungen wurden in der Altersgruppe der 32 bis 59 Jahre alten Patienten festgestellt, deren Krankheitsbild schon seit fünf bis vierzig Jahren bestand. Es konnte jedoch kein Zusammenhang zwischen dem Schweregrad der Erosion, der Dauer der gastrointestinalen Symptome und dem Alter der Patienten nachgewiesen werden. Die Erosionen waren an den palatinalen und okklusalen Flächen der oberen Zähne lokalisiert. Am stärksten waren die Schneidezähne betroffen (Järvinen et al., 1988).

In einer finnischen Studie konnte ein Zusammenhang zwischen Krankheit, Alter der Patienten und Erosionen nachgewiesen werden. Bei der Untersuchung eines Patientenkollektivs von 117 Personen, die unter gastroösophagealem Reflux litten, wurden bei 24% der Patienten Erosionen diagnostiziert. Diese Personen litten schon seit einem längeren Zeitraum (im Durchschnitt 17 Jahre) an dieser Erkrankung und zeigten daher auch ein ausgeprägteres Krankheitsbild im Vergleich zu den Patienten ohne erkennbare Erosionen (Meurman et al., 1994).

In allen Studien zeigte sich, dass die betroffenen Patienten entweder eine niedrige Speichelpufferkapazität oder eine reduzierte Fließrate des Ruhespeichels aufwiesen. (Järvinen et al., 1988; Järvinen et al., 1991; Meurman et al., 1994).

Chronischer Alkoholismus wurde ebenfalls mit Erosionen in Verbindung gebracht. Laut Brickley und Shepard (1989) sind etwa 10% der Erwachsenen alkoholabhängig. So kann übermäßiger Alkoholgenuss neben der Schädigung anderer Organsysteme zu Reflux von Mageninhalt führen. Damit verbunden kann es zu einer Refluxoesophagitis oder zu einer chronischen Gastritis kommen. Bei Alkoholkranken zeigen sich erosive Veränderungen zuerst an den palatinalen Flächen der oberen Schneidezähne. Im weiteren Verlauf treten an den palatinalen und okklusalen Flächen der Oberkieferseitenzähne sowie inzisal der Frontzähne Erosionen auf (Simons und Thompson, 1987) In einer Studie von Robb und Smith aus dem Jahr 1990 betrug die Erosionsprävalenz bei Alkoholkranken 40%.

2.1.2 Erscheinungsform und Histologie der Erosion

Erosionen wurden erstmals im Jahr 1892 von Darby erwähnt. Sie wurden mit zahlreichen Synonymen beschrieben, wie Adamantolyse, Odontolyse oder Schmelzulkus. Eccles (1979) unterteilte erosive Veränderungen der Zahnhartsubstanz in drei Kategorien:

Klasse I: oberflächliche Läsionen, ausschließlich im Schmelz.

Klasse II: lokalisierte Läsionen mit Dentinbeteiligung. Das Dentin liegt zu weniger als ein Drittel der Zahnfläche frei.

Klasse III: generalisierte Läsionen. Das Dentin liegt zu mehr als ein Drittel der Zahnfläche frei.

Weiterhin unterscheidet man zwischen sogenannten Frühläsionen und Spätläsionen. Frühläsionen sind klinisch schwer zu diagnostizieren und betreffen nur den Schmelz (Eccles Klasse I), der glatt und matt glänzend aussieht. Er ist teilweise aufgelöst und in seiner Dicke reduziert. Die Spätläsionen entsprechen den Eccles Klassen II und III. In diesem Stadium liegt das Dentin bereits frei.

Ein weiteres Unterscheidungskriterium ist die Progredienz. Mühlemann (1962) unterschied dabei zwischen einer ruhenden, latenten Form und einer aktiven progredienten Form. Aktiv progrediente Läsionen sind gekennzeichnet durch Schmelzränder, die dünn gegen das freiliegende Dentin auslaufen (Schweizer-Hirt et al., 1978). Erosive Läsionen im Bereich des Schmelzes weisen eine zerkratzte Oberfläche mit einem Verlust der Perikymatien auf, histologisch ist ein Honigwabemuster durch selektiv gelöste Schmelzprismenenden erkennbar, das vergleichbar mit dem Ätzmuster der Schmelz-Ätz-Technik ist (Mannerberg, 1961, 1962; Mühlemann, 1962). Im Dentin kommt es zu einer Demineralisation des peritubulären Dentins und der Eröffnung einiger Dentinkanälchen. Dies führt bei einem schnellen Verlauf der Erosion zu einer zunehmenden Empfindlichkeit der Zähne (Meurman et al., 1991; Noack, 1989). Ruhende latente Läsionen sind gekennzeichnet durch wulstige Schmelzränder und einem Fehlen des Honigwabemusters (Mühlemann, 1962). Noack (1989) untersuchte Erosionen der Zahnhartsubstanz mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie und konnte die Einteilung von Mühlemann nicht bestätigen. Er beobachtete eine Kombination von wulstigem und glattem Übergang von Schmelz zu Dentin. Meurman und Frank (1991) untersuchten die mikroskopische Struktur von prismatischem und aprismatischem Schmelz an menschlichen Zähnen und an Rinderzähnen. Die Zahnproben wurden in verschiedenen sauren Lösungen getaucht und anschließend elektronenmikroskopisch untersucht. Dabei zeigte sich, dass aus dem prismatischen Schmelz von Menschen sowie von Rindern zuerst die Schmelzprismenscheide, danach die Prismenzentren und später die interprismatische Schmelzsubstanz gelöst wurden. Aprismatischer Schmelz erwies sich als resistenter gegen Erosionen. Erosive Läsionen weisen eine sehr unregelmäßige Struktur auf (Meurman und ten Cate, 1996).

2.1.3. Prävalenz von Erosionen

Epidemiologische Untersuchungen von Erosionen sind selten, daher sind Prävalenzdaten weltweit sehr spärlich. Aufgrund der unterschiedlich ausgewählten Indizes und des unterschiedlichen Studiendesigns ist es schwierig Prävalenzstudien miteinander zu vergleichen. Eine der ersten Studien wurde 1972 in den USA von Sognaes et al. durchgeführt. Es wurden 10.000 extrahierte Zähne untersucht. Bei 1700 Zähnen fanden sich Anzeichen von erosiven Läsionen. Die Erosionsprävalenz betrug 18%. In einer Studie aus dem Jahr 1983 wurden stichprobenartig 527 Patienten im Alter zwischen 14 und 80 Jahre untersucht, 25% wiesen erosive Defekte auf, jedoch wurde darauf hingewiesen, dass einige der Läsionen eher Abrasionen glichen als Erosionen (Xhonga und Valdmanis, 1983).

Prävalenzstudien mit Kindern und Jugendlichen zu dieser Thematik wurden beinahe ausschließlich in Großbritannien durchgeführt. Untersuchungen im Milchgebiss von Kindern im Alter zwischen 1,5 und 6 Jahren ergaben relativ hohe Prävalenzzahlen. In der Altersgruppe der 1,5 bis 4,5-jährigen fanden sich bereits bei 10% der Kinder eine bukkale Erosion und bei 19% eine palatinale Erosion. Die Dentinbeteiligung lag bei 8% (Hinds und Gregory, 1995). Bei den 5 bis 6-jährigen wiesen 52% der Kinder Erosionen an den Palatinalflächen der Zähne auf und in beinahe einem Viertel aller Fälle lag eine Dentinbeteiligung vor (O'Brien, 1994).

Es gibt verschiedene Studien die beobachtet haben, dass die Erosionsprävalenz mit zunehmendem Alter der Kinder ansteigt und die Zahnhartsubstanzdefekte ausgedehnter werden. Bei Jugendlichen zwischen 11 und 14 Jahren wurde eine Erosionsprävalenz von 30 bis 57% ermittelt (Milosevic et al., 1993; Bartlett et al., 1998). Es wird diskutiert, dass der Konsum von Softdrinks bei dieser Entwicklung eine bedeutende Rolle spielt. In den USA beispielsweise stieg in den Jahren von 1960 bis 1991 der Konsum von Softdrinks von 87 Liter pro Kopf auf 272 Liter pro Kopf im Jahr (Millward et al., 1994).

In einer Vergleichsstudie wurden Jugendliche in den USA und in Großbritannien im Alter zwischen 11 und 13 Jahren untersucht. Die meisten Teilnehmer gaben an Softdrinks und Fruchtsaftgetränke zu konsumieren. Bei den britischen Jugendlichen war der Konsum von Fruchtsäften signifikant höher als bei den amerikanischen Jugendlichen. Die Ergebnisse wiesen jedoch keine signifikanten Unterschiede auf. Bei 41% der amerikanischen Jugendlichen und bei 37% der britischen Jugendlichen fanden sich erosive Läsionen (Deery et al., 2000).

Häufig ist zu beobachten, dass männliche Jugendliche stärker unter Erosionen leiden als weibliche Jugendliche. In einer Studie in Großbritannien aus dem Jahr 1993 wurden 1035 Jugendliche im Alter von 14 Jahren untersucht. Bei 30% der Jugendlichen wurden Zeichen von Erosionen mit Dentinbeteiligung im Inzisalbereich festgestellt, wobei die Gruppe der männlichen Probanden mit 35% stärker betroffen war, als die Gruppe der weiblichen Probanden mit 24%. (Milosevic et al., 1993). Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen Al-Dlaigan et al. (2001). Bei einer Untersuchung von 418 britischen Jugendlichen im Alter von 14 Jahren litten 56% der männlichen Jugendlichen und 49% der weiblichen Jugendlichen an erosiven Zahnhartsubstanzdefekten.

Bei Erwachsenen korreliert die Erosionsprävalenz mit dem Alter sowie dem Konsum erosiver Nahrungsmittel und Getränke. In einer Schweizer Studie wurden 391 Probanden zufällig ausgewählt und in zwei Altersgruppen unterteilt. Bei 29,9% der jüngeren Erwachsenen (26 - 30 Jahre) wurde mindestens ein Zahn mit einer schweren okklusalen Läsion beobachtet und in der älteren Gruppe (46 - 50 Jahre) bei 42,6%. Schwere faziale Läsionen mit Dentinbeteiligung wiesen 7,7% der jüngeren Erwachsenen auf und 13,2% der Älteren (Lussi et al., 1991). Im Rahmen einer Langzeitstudie wurde dieselbe Population untersucht, um die Progressionsrate von Zahnerosionen und keilförmigen Defekten über einen Zeitraum von sechs Jahren (1987 - 1993) zu beobachten. Ursprünglich konnten 204 Personen untersucht werden. 1993 konnten 55 Probanden nachuntersucht werden, mit dem Ergebnis, dass in der jüngeren Gruppe die Prävalenz von okklusalen Erosionen mit Dentinbeteiligung von 3% auf 8% angestiegen war und in der älteren Gruppe von 8% auf 26% (Lussi et al., 2000a). Es wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Erosionen und bestimmten Nahrungsgewohnheiten, wie der häufige Konsum von Früchten (Zitrusfrüchte) und Fruchtsäften festgestellt (Lussi et al., 1991).

In zwei Studien aus jüngster Zeit wurden 417 Soldaten der Schweizer Armee im Alter zwischen 19 und 25 Jahren, beziehungsweise 362 Soldaten einer deutschen Kaserne mit einem Durchschnittsalter von 20,8 Jahren untersucht. Das untersuchte Patientengut der beiden Studien stammte aus allen Regionen der Schweiz und aus ganz Deutschland und spiegelt die demographische Situation einer jungen männlichen Bevölkerung nach absolvierter Ausbildung wider. Bei den Rekruten der Schweizer Armee wiesen 82% okklusale Erosionen ohne Dentinbeteiligung und 30,7% okklusale Erosionen mit Dentinbeteiligung auf (Jaeggi et al., 1999). In der deutschen Studie zeigte sich, dass bei

23% der Wehrdienstleistenden mindestens ein Zahn eine erosive Läsion aufwies ohne Dentinbeteiligung und bei 4% eine schwere Erosion mit Dentinbeteiligung. Bei 19,1% der untersuchten Soldaten fanden sich okklusale Erosionen ohne und bei 3,9% mit Dentinbeteiligung (Ganss et al., 2004).

Einige Prävalenzstudien berücksichtigten auch die soziale Herkunft der untersuchten Personen. Dabei wird diskutiert, dass Personen aus sozial niedrigen Schichten möglicherweise mehr Erfrischungsgetränke konsumieren und Personen aus sozial besseren Schichten sich aufgrund eines gesteigerten Gesundheitsbewusstseins gesünder ernähren. Ein weiterer Aspekt scheint das Alter der Probanden zu sein, so erfahren Teenager unterschiedliche Lebensstile und Umwelteinflüsse. Die Ernährung sowie der Konsum von Softdrinks ist von den Eltern nicht mehr beeinflussbar, ebenso erfolgt nicht bei allen Kindern eine Beaufsichtigung der durchgeführten Mundhygienemaßnahmen. Bisher konnte jedoch kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Erosionsprävalenz und dem sozialen Hintergrund gefunden werden. Zwar konnten in einer Studie mehr Erosionen bei Jugendlichen aus sozial schwachen Verhältnissen beobachtet werden, andere Untersuchungen dagegen kamen zu einem gegenteiligen Ergebnis. In einer britischen Studie im Jahr 2001 wurden Jugendliche im Alter von 14 Jahren unter Berücksichtigung der sozialen Verhältnisse untersucht. Der Anteil erosiv bedingter Zahnhartsubstanzverluste war in der Gruppe der sozial schwachen Jugendlichen am höchsten. 39% hatten leichte, 60% mittelschwere und 1% schwere Erosionen. Bei Jugendlichen aus besseren sozialen Verhältnissen wiesen 69% leichte und nur 31% mittelschwere Erosionen auf (Al-Dlaigan et al., 2001). Bei einer Untersuchung von Kindern im Alter von 4 Jahren zeigte sich, dass die Kinder aus niedrigen sozialen Verhältnissen weniger Erosionen aufwiesen als die Kinder aus besseren sozialen Verhältnissen. 19% der Kinder aus besseren sozialen Verhältnissen wiesen schwere Erosionen auf, verglichen mit nur 4% aus der Gruppe der sozial schwachen Kinder. Insgesamt zeigten beinahe die Hälfte aller Kinder typische Erosionen an den palatinalen Flächen der Oberkiefer Frontzähne (Millward et al., 1994).

Anhand von 1000 kieferorthopädischen Situationsmodellen von Kindern im Alter von $11,3 \pm 3,3$ Jahren wurde die Erosionsprävalenz an Milchzähnen sowie an bleibenden Zähnen untersucht. 265 dieser Modelle wurden für eine Longitudinalstudie verwendet. Die Prävalenz bei den Milchzähnen betrug 73,6%. Bei einem Vergleich der Zeitspannen von 1977 - 1989 und von 1990 - 1999 konnte eine Verdopplung der Prävalenz festgestellt

werden. So ergab sich für die bleibenden Zähne eine vergleichsweise geringe Prävalenz von 11,6%, da hauptsächlich die ersten unteren Molaren betroffen waren. Jedoch zeigte sich in der Longitudinalstudie ein stark erhöhtes Erosionsrisiko für die bleibenden Zähne, wenn schon im Milchgebiss Erosionen vorhanden waren. Bei 34% der Kinder, die schon Erosionen im Milchgebiss aufwiesen, wurden ebenfalls Zeichen von Erosionen an den bleibenden Zähnen festgestellt. Im Vergleich zu den Probanden, die keine Milchzahnerosionen aufwiesen, hatten 91,2% auch keine Erosionen an ihren bleibenden Zähnen (Ganss et al., 2001a).

Ein Vergleich der Ergebnisse verschiedener Prävalenzstudien ist sehr schwierig, da die ausgewählten Indizes sowie Studiendesigns nicht einheitlich sind. Der Vorschlag einer Standardisierung der Indizes wäre sinnvoll und würde einen Vergleich der Ergebnisse ermöglichen (Xhonga und Valdmanis, 1983; Nunn, 1996).

2.1.4 Therapie von Erosionen

Zur Behandlung von Erosionen ist es wichtig, die genaue Ursache für den Zahnhartsubstanzverlust zu diagnostizieren. In einigen Studien wurde dies mit Hilfe von Interviews, Fragebögen und der Erstellung von Ernährungsplänen durchgeführt (Ganss et al., 1999a; Jaeggi et al., 1999; Lussi et al., 2000a). Die wichtigste Maßnahme bei Erosionen besteht in der Vermeidung von sauren Noxen. Bei ernährungsbedingten Erosionen sollte die Häufigkeit des Konsums saurer Lebensmittel vermindert beziehungsweise auf die Hauptmahlzeiten beschränkt werden (Millward et al., 1994). Säurehaltige Getränke sollten schnell oder mit einem Strohhalm getrunken werden, um den direkten Kontakt mit den Zähnen zu minimieren (Smith et al., 1993). Sprudelnde Vitamin-C-Tabletten, oder auch Medikamente wie Acetylsalicylsäure sollten durch Kapseln ersetzt werden, die in toto geschluckt werden können, um erosive Zahnhartsubstanzdefekte zu vermeiden (Sullivan und Kramer, 1983). Patienten mit gastroösophagealem Reflux wird angeraten, zur Reduktion der Magensäureproduktion den Kopf während des Schlafens in einer erhöhten Position zu lagern, außerdem sollte eine medikamentöse Therapie erfolgen (Taylor et al., 1992). Als wesentlich schwieriger gestaltet sich die Therapie von Patienten mit nachgewiesenen Essstörungen.

Es gibt zwei Therapieansätze bei erosivbedingten Zahnhartsubstanzverlusten. Zum einen besteht die Möglichkeit einer kausalen Therapie, dazu gehören jegliche Maßnahmen, die das Erosionspotential der Säureangriffe abschwächen beziehungsweise die absolute Vermeidung der Noxe. Zum anderen gibt es die Möglichkeit der symptomatischen Therapie, die das Fortschreiten erosiver Substanzverluste vermeiden soll, beispielsweise durch lokale Fluoridapplikation zur Etablierung einer kalziumfluoridähnlichen Deckschicht. Im Rahmen der kausalen Therapie wird zur Verringerung des erosiven Potentials die Wirkung von Getränkezusätzen wie zum Beispiel Fluorid, Magnesium, Xylitol oder Kalzium untersucht. In einem Tierversuch mit Ratten wurde die erosive Wirkung eines Sportgetränkes mit und ohne Zusatz von Fluorid und Magnesium untersucht. Magnesium wird häufig aufgrund seines gesundheitsfördernden Potentials als Nahrungsergänzung verwendet. Das Studienergebnis zeigte, dass die Tiere, die das Sportgetränk mit einem Fluoridgehalt von 15 ppm erhielten, weniger schwere Läsionen aufwiesen, als die Tiere der anderen Versuchsgruppen. In der Testgruppe, die Fluorid und Magnesium als Getränkezusatz erhielten, hatte Magnesium keinen nachweisbaren Einfluss (Sorvari et al., 1988).

Xylitol ist ein Zuckeraustauschstoff, der in Beeren und Gemüsen vorkommt. Einige Studien konnten zeigen, dass Xylitol durch seine Fähigkeit Komplexe mit Kalziumionen zu bilden und in demineralisierten Schmelz zu penetrieren eine kariöse Läsion verhütet (Mäkinen und Söderling, 1984; Arends et al., 1984). Es wird diskutiert, dass Xylitol Schmelzerosionen durch den gleichen Wirkmechanismus hemmen kann. In einer in vitro Studie wurde ein Orangensaft mit den Getränkezusätzen Fluorid und Xylitol versetzt. Dabei wurde reiner Orangensaft unterschiedlich modifiziert, entweder mit Fluorid (5 ppm), mit Xylitol (25%), oder eine Kombination aus beiden. Als Vergleichslösung diente reiner Orangensaft. Bei der Kombination von Xylitol und Fluorid wurde eine Minderung des Mineralverlustes von rund 35% beobachtet, wohingegen Xylitol (3%) oder Fluorid (8,6%) alleine nur eine geringe Minderung aufwiesen (Amaechi et al., 1998). Der Zusatz von Fluorid wird gegensätzlich diskutiert. In einer dänischen Studie aus dem Jahr 2002 wurde die Wirkung von Kalziumfluorid in einigen Fruchtsaftkonzentraten und einigen kohlenensäurehaltigen Softdrinks untersucht. Humane Schmelzproben wurden für die Dauer von 48 Stunden in 500 ml der Getränke mit und ohne Kalziumfluoridzusatz gegeben. Anschließend wurden die Erosionstiefen mit Hilfe der Mikroradiographie bestimmt. Die Tiefen der Läsionen betrugen für die Getränke ohne Fluoridzusatz 450-625 µm und für die Getränke mit Kalziumfluoridzusatz 350-625 µm. Es zeigte sich, dass die Fruchtsaftgetränke

erhebliche Mengen an Säuren enthielten, die in vitro ähnliche Zahnerosionen induzierten wie kohlenensäurehaltige Getränke. Die Sättigung mit Kalziumfluorid reduzierte die Entwicklung von Erosionen in vitro um 28% bei einem pH-Wert der Getränke von über 3, die Fluoridkonzentration betrug 6 - 15 ppm. Das erosive Potential der Fruchtsaftgetränke ist eng verbunden mit dem jeweiligen pH-Wert. Eine hohe Fluoridkonzentration in den Getränken könnte einen präventiven Effekt haben, aber in vernünftigen Konzentrationen wäre kaum eine Reduktion von Erosionen möglich (Larsen et al., 2002). Die Autoren konnten im Gegensatz zu der in vitro Studie von Amaechi et al. (1998) keine präventive Wirkung für Fluorid als Getränkezusatz bei Erosionen nachweisen.

Bei in vitro und in situ Studien wurde eine signifikante Reduktion erosiver Schmelzdefekte durch den Zusatz von Kalzium beobachtet. Ein experimentell hergestellter Schwarzerjohannisbeersaft mit Kalzium, ein herkömmlicher Orangensaft und Wasser wurden in vitro und in situ miteinander verglichen. Nach 15 Tagen Versuchsdauer wurden die Schmelzproben profilometrisch untersucht. Orangensaft bewirkte in situ (2,54 µm) als auch in vitro (22,18 µm) den größten erosiven Zahnhartsubstanzverlust und Wasser den geringsten (in situ 0,19 µm; in vitro 0,0 µm). Durch den Zusatz von Kalzium verursachte der experimentell hergestellte Schwarzejohannisbeersaft ausgesprochen geringe Schmelzerosionen, in situ lag der Zahnhartsubstanzverlust mit 0,41 µm in der gleichen Größenordnung wie Wasser, in vitro betrug der Schmelzverlust 5,2 µm (Hughes und West, 1999). Der Vergleich mit einem herkömmlichen Schwarzenjohannisbeersaft, Orangensaft, Wasser und einem experimentell hergestellten Schwarzenjohannisbeersaft mit Kalzium verursachte nach 15 Tagen einen durchschnittlichen Schmelzverlust in situ von 2,75; 1,70; 0,05 und 0,44 µm. Der Schmelzverlust war im Vergleich mit allen Fruchtsäften signifikant größer als bei Wasser. Auch in vitro verursachte der herkömmliche Schwarzejohannisbeersaft mit 39,02 µm den größten erosiven Substanzverlust gefolgt von Orangensaft mit 13,02 µm, Schwarzerjohannisbeersaft mit Kalzium mit 1,78 µm und Wasser mit 0,00 µm. Die positiven Ergebnisse der in situ Studien sollten die weitere Entwicklung von Getränken mit Kalziumzusatz für den Handel fördern und unterstützen (West und Hughes, 1999).

Das Ziel der symptomatischen Therapie besteht darin, das Fortschreiten der Erosion bei bestehender Säureeinwirkung zu vermeiden. Durch eine mechanische Abrasion werden erosive Läsionen häufig verschlimmert. Zahlreiche Studien konnten zeigen, dass nach dem Kontakt mit Säuren der Zahnhartsubstanzverlust durch Bürsten der Zähne beschleunigt

wurde. Werden die Zähne direkt nach einem Säureangriff geputzt, bevor sie durch den Speichel remineralisiert werden konnten, wird die teils aufgelöste Zahnhartsubstanz weggebürstet. Dies führt zu einem irreversiblen Substanzverlust (Davis und Winter, 1980; Zero, 1996). In einer in vitro Studie wurde der Substanzverlust von Schmelzproben nach einer Lagerung in frisch gepressten Orangensaft für die Dauer von 5 Minuten und anschließendem Bürsten der Proben mit einer Zahnpaste ermittelt. Es fand sich ein Abtrag von 2 - 4 µm des erweichten Schmelzes (Schweizer-Hirt et al., 1978). Auch das Bürsten der Zähne mit Wasser oder mit Wasser und Zahnpaste nach einem erosiven Angriff verursacht eine beschleunigte Abrasion des Schmelzes (Davis und Winter, 1980). Die Größe der Abrasion ist von der Dicke der demineralisierten Schmelzschicht abhängig. Mit zunehmendem Schweregrad der erosiven Läsionen kommt es zu einem Anstieg des Substanzverlustes durch Zahnbürstabrasionen.

Diese Beobachtung konnte in einer in vitro Studie mit Rinderschmelzproben die für 1,5 oder 15 Minuten erodiert und anschließend standardisiert abradiert wurden, bestätigt werden. Bei abnehmender Oberflächenhärte der Zahnhartsubstanz tritt eine überproportionale Zunahme des Substanzverlustes durch Zahnbürstabrasion auf (Attin et al., 1997).

In diesem Zusammenhang kommt der Remineralisation der angegriffenen Oberfläche eine entscheidende Bedeutung zu. In einer in vitro Studie wurde untersucht, wie lange zuvor erodierte Schmelzproben remineralisiert werden müssen, bis der Schmelz wieder gegen Abrasion resistent ist. Die Demineralisation der Proben erfolgte für eine Minute mit Sprite light, danach erfolgte eine Remineralisation in künstlichem Speichel für 0 Minuten, 10 Minuten, 60 Minuten oder 240 Minuten. Anschließend wurden die Proben gebürstet und der Substanzverlust wurde profilometrisch bestimmt. Die Abrasionsresistenz des erodierten Schmelzes nahm mit fortlaufender Remineralisationsdauer zu. Dennoch war nach einer Stunde Remineralisationszeit die Abrasion der erodierten Schmelzproben noch erhöht (Attin et al., 2000).

Patienten mit erosivem Zahnhartsubstanzverlust sollten darauf achten, eine weiche Zahnbürste sowie eine wenig abrasive Zahnpasta zu verwenden (Imfeld, 1996).

Durch in vitro und in situ Studien kamen Ganss et al. (1999b) zu dem Ergebnis, dass der Zahnhartsubstanzverlust deutlich verringert werden kann, wenn ein längerer Zeitraum zwischen der erosiven Wirkung und der Abrasion durch das Zähneputzen besteht und zusätzlich eine fluoridhaltige Zahnpaste verwendet wird. Personen mit einem

Erosionsrisiko und Abrasionsdefekten wird empfohlen nach dem Konsum von erosiven Getränken oder Nahrungsmitteln mindestens eine Stunde mit dem Zähneputzen zu warten und wenn möglich direkt nach dem Säureangriff mit Wasser oder einer fluoridhaltigen Spüllösung zu spülen (Lussi et al., 2002).

Bei schon bestehenden Läsionen kann zum Schutz vor weiteren Schäden die erodierte Zahnregion mit einem dünnen Bonding-Film überzogen werden. Anhand von extrahierten Zähnen, die mit einem Bonding-System vorbehandelt worden waren, konnte gezeigt werden, dass nach Erosion und Abrasion eine signifikant geringere Progression der Läsionen auftrat als bei ungeschützten Zähnen (Azzopardi et al., 2001). Diese Therapie hat jedoch Nachteile. Der Patient kann sie nicht zu Hause durchführen und im Laufe der Zeit kommt es zu einem Verschleiß des Bonding-Films, so dass dieser wieder erneuert werden muss um weiterhin eine Schutzfunktion zu gewährleisten.

Untersuchungen konnten zeigen, dass durch Präzipitation von Mineralien die Mikrohärte der Zahnhartsubstanz anstieg. In einer in vitro Studie wurde die Effektivität einer remineralisierenden sowie einer konventionellen Zahnpasta auf die Härte von intakten und erodierten menschlichen Schmelzproben untersucht. Die remineralisierende Zahnpaste enthielt neben NaF gelöste Kalzium-, Phosphat- und Fluorid-Ionen. Die Lagerung der Proben in einem säurehaltigen Softdrink verursachte eine Abnahme der Mikrohärte um 15,4%. Die anschließende Behandlung der erodierten Proben führte bei beiden Zahnpasten zu einem Anstieg der Mikrohärte, bei der remineralisierenden um 12,1% und bei der konventionellen Zahnpasta um 7,3%. Im Vergleich dazu führte die Behandlung der intakten Schmelzproben mit der remineralisierenden Zahnpasta zu einem Anstieg um 4,9% beziehungsweise mit der konventionellen NaF-haltigen Zahnpasta um 1,6%. (Munoz et al., 1999). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch Collys et al. (1993). Sie untersuchten die Wiedererhärtung von erweichten und geätzten Schmelzoberflächen in vitro, die 8 Stunden lang in einer Kalziumphosphatlösung oder in einer Kalziumphosphatlösung mit 1 ppm Fluorid gelagert wurden. Beide Remineralisationslösungen führten zu einer Wiedererhärtung der Schmelzoberflächen.

Neben der Vermeidung mechanisch bedingter Zahnhartsubstanzverluste spielen Fluoride eine bedeutende Rolle bei der Verringerung von Zahnhartsubstanzverlusten. Fluoride werden in verschiedenen Formen eingesetzt, einerseits als Getränkezusatz, andererseits als lokale Applikation in Form von Zahnpasten, Mundspüllösungen, Gelen und Lacken (Hellwig et al., 1999).

Die Wirksamkeit eines Fluoridierungsmittels zur Hemmung erosiver Zahnhartsubstanzverluste ist stark abhängig von seiner Fähigkeit, auf der Zahnoberfläche ein kalziumfluoridähnliches Präzipitat zu bilden. Das zur Bildung benötigte Kalzium stammt dabei teilweise aus dem sich auflösenden Apatit und den umgebenden Flüssigkeiten (Duschner et al., 1984). Kalziumfluoridähnliches Material wird sowohl auf gesundem als auch auf demineralisiertem Schmelz gebildet (Lagerlöf et al., 1988; Øgaard et al., 1983). Wichtig für die Wirkung ist, dass das Kalziumfluorid, welches in reiner Form eine sehr große Löslichkeit besitzt, nicht direkt nach der Bildung in Lösung geht. Es ist jedoch wenig über die Menge sowie die Löslichkeit solcher kalziumfluoridähnlicher Deckschichten bekannt. Von entscheidender Bedeutung ist, über welchen Zeitraum diese Schicht auch unter Mundbedingungen sauren Angriffen stand hält, bevor eine neue Fluoridapplikation erforderlich ist.

In der Literatur finden sich einige Studien, die die Wirkung lokal applizierter Fluoridpräparate bei Erosionen untersucht haben. Eine Langzeitapplikation von Fluoridlack oder Fluoridlösung vor einem Säureangriff kann eine initiale Erosion verhindern, so dass die Abnahme der Mikrohärtigkeit von Schmelz reduziert wird (Sorvari et al., 1994), allerdings erweist sich eine Applikationszeit von 24 und 48 Stunden als klinisch unrealistisch. Mikrohärtemessungen konnten zeigen, dass ein signifikanter Wiedererhärtungseffekt durch Fluorid möglich ist, jedoch konnte in keinem Fall die initiale Mikrohärtigkeit wiedergewonnen werden (Munoz et al., 1999).

Kalziumfluoriddeckschichten erwiesen sich unter Laborbedingungen als weniger stabil als in situ. Menschliche Schmelz- und Dentinproben wurden einem De- und Remineralisationszyklus mit intermittierender Fluoridierung unterzogen. In einer in vitro Studie konnte nach 5 Tagen nur eine Reduktion des Mineralverlustes von etwa 20% erreicht werden (Ganss et al., 2001c), wohingegen in einer in situ Studie ebenfalls von Ganss et al. (2001b) die erosive Demineralisation nahezu verhindert werden konnte. Humane Schmelzproben wurden in Gaumenplatten eingearbeitet und extraoral sechsmal am Tag für fünf Minuten in 100 ml 0,05 molarer Zitronensäure (pH 2,3) erodiert. Die Fluoridapplikation erfolgte entweder in Form einer Zahnpastenfluoridierung (0,14% F) dreimal täglich für fünf Minuten, oder in Form einer Intensivfluoridierung mit zusätzlich dreimal täglich fünf Minuten Spülung mit einer fluoridhaltigen Lösung (0,025% F). Weiterhin erfolgte am ersten und dritten Tag eine Fluoridgelapplikation (1,25% F). Der Mineralgehalt wurde zu Beginn und am Ende des Versuchs mikroradiographisch

bestimmt. Bereits nach der Zahnpastenfluoridierung zeigte sich eine signifikante Verringerung des Substanzverlustes und die Intensivfluoridierung konnte die erosive Demineralisation sogar nahezu verhindern. Es wird diskutiert, dass die bessere Stabilität einer kalziumfluoridähnlichen Deckschicht in situ auf das Vorhandensein eines Speichelpellikels zurückzuführen ist, welches in vitro fehlt.

Über die Wirksamkeit von Fluorid bei Erosionen ist recht wenig bekannt. Jedoch scheint der Wirkungsmechanismus in der Ausbildung einer kalziumfluoridähnlichen Deckschicht zu liegen, so dass deren Stabilität von großer Bedeutung wäre. Deshalb war das Ziel der vorliegenden Untersuchung die Stabilität einer kalziumfluoridähnlichen Deckschicht und des strukturell gebundenen Fluorids nach einer einmaligen Fluoridapplikation unter wiederholten erosiven Bedingungen in situ auf und in Schmelz zu untersuchen. In der Literatur finden sich keine Studien, die den Gehalt von strukturell gebundenem Fluorid nach wiederholten erosiven Angriffen untersucht haben. Die erste in situ Studie zu dieser Fragestellung, wie stabil eine Kalziumfluoriddeckschicht auf Schmelz unter erosiven Bedingungen ist wurde von Rudolph (2001) durchgeführt, mit einem positiven und überraschendem Ergebnis. An dieser Studie nahmen vier Probanden teil, die für einen Zeitraum von 14 Tagen Schmelzproben in einer Gaumenplatte trugen. Die verwendeten Proben wurden zuvor fluoridiert und anschließend unter erosiven Bedingungen getragen. Es zeigte sich, dass nach sieben Versuchstagen die erodierten Proben einen signifikant höheren Fluoridgehalt aufwiesen, als die nicht erodierten Proben. Zahnmedizinische in situ Versuche sind zumeist wegen der aufwendigen Präparations- und Analysenmethode sehr zeitraubend. Dies wiederum bedeutet für die Teilnehmer eine erhebliche körperliche sowie zeitliche Belastung. Aus diesem Grunde sind solche Versuche in der Regel auf wenige Probanden beschränkt. Deshalb erscheint es sinnvoll, solche Versuche zu wiederholen, um eine Bestätigung der Ergebnisse zu erhalten.

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, eine mögliche Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse mit der in situ Studie von Rudolph (2001) trotz einer geringen Probandenzahl nachzuweisen. Unabhängig davon sollte ebenfalls die Möglichkeit einer Reproduzierbarkeit der Ergebnisse für KOH-lösliches und strukturell gebundenes Fluorid innerhalb der beiden vorliegenden Versuchsreihen durch Wiederholung der in situ Studie bei einer kleinen Anzahl von Probanden, die an beiden Versuchsdurchgängen teilnahmen, untersucht werden.

3 Material und Methode

3.1 Vorversuche zum Mikrodrill-Verfahren

Für die Vorversuche wurden extrahierte menschliche Molaren verwendet. Die Zähne wurden in einer wässrigen Thymollösung (Mat.1) gelagert. Da nur die Zahnkronen benötigt wurden, wurden zunächst die Wurzeln abgetrennt. Anschließend erfolgten mehrere Schnitte durch die Zahnkrone. Die einzelnen Zahnprobenschnitte wurden von beiden Seiten mit einem Schmirgelpapier (Mat.2) geglättet. Es wurden jeweils 30 Schmelz- und 30 Dentinproben hergestellt. Jede Zahnprobe wurde auf einem Glasobjektträger (Mat.3) mit lighthärtendem Kunststoff (Mat.4) befestigt. Die Probenentnahme erfolgte mit einem Hartmetallspiralbohrer (Mat.5; Durchmesser 3 mm) in einem modifiziertem Mikrodrillgerät senkrecht zur Probenoberfläche nach der Methode von Haberman et al. (1980). Der Antrieb erfolgte über einen Knieanlasser bei einer eingestellten Bohrgeschwindigkeit von 5000 Umdrehungen pro Minute. Zuvor durchgeführte Tests hatten ergeben, dass bei höheren Umdrehungszahlen zuviel Bohrstaub verloren ging. Zur Tiefenmessung wurde eine Mikrometeruhr (Mat.6) angebracht. Vor jeder Bohrung wurden zwei Differenzwägungen mit Hilfe einer Analysenwaage (Mat.7) durchgeführt. Zuerst wurde der Objektträger mit der befestigten Zahnprobe gewogen und das Gewicht schriftlich festgehalten, danach wurde nur das Gewicht eines Objektträgers bestimmt. Der Glasobjektträger diente zum Auffangen und Sammeln des Bohrstaubes. Die Bohrung erfolgte in drei unterschiedlichen Tiefen: 150 µm, 200 µm und 300 µm. Für jede Tiefenbohrung wurden 10 Schmelz- und 10 Dentinproben verwendet. Die Tiefe der Bohrung wurde mit Hilfe einer Mikrometeruhr kontrolliert. Die Bohrung erfolgte langsam und vorsichtig. Der Staub, der sich um das Bohrloch sammelte, wurde durch vorsichtiges Herumdrehen der Probe und leichtes Klopfen auf die Rückseite des Glasobjektträgers auf dem zuvor gewogenen Objektträger aufgefangen. Restlicher Bohrstaub wurde mit Hilfe eines Pinsels von dem Bohrer entfernt und ebenfalls auf dem Objektträger gesammelt.

Anschließend erfolgte eine Wägung des Objektträgers mit gesammeltem Staub und eine Wägung des Objektträgers mit der befestigten Zahnprobe. Durch die beiden Differenzwägungen wurde ermittelt, wie groß die Menge des gesammelten Bohrstaubes war und wie hoch der Verlust war. Es erfolgte aufgrund weiterer Versuche eine Modifizierung und Vereinfachung des Verfahrens, das nun im Folgenden beschrieben wird.

3.2 Probenherstellung und Fluoridierung

Für die Herstellung der benötigten Schmelzproben wurden ausschließlich operativ entfernte, menschliche dritte Molaren verwendet, die noch keinen Kontakt zur Mundhöhle hatten. Nach der chirurgischen Entfernung wurden die Zähne bis zur Weiterverarbeitung in einer wässrigen gesättigten Thymollösung gelagert. Zunächst wurde noch vorhandenes Weichgewebe von den Zähnen entfernt, anschließend wurden die dritten Molaren mit einem lichthärtendem Kunststoff und einer Polymerisationslampe (Mat.8; 1 Minute) mit der Okklusalfäche auf einem Plexiglasobjektträger (Mat.9) befestigt. Zur Abtrennung der Wurzeln wurde dieser Plexiglasobjektträger mit fixiertem Zahn an dem Exakt-Trennschleifgerät (Mat.10) mit Hilfe einer Vakuum-Pumpe (Mat.11; 700 mbar) angebracht. Bei mittlerer Geschwindigkeit der Bandsäge (Stufe 12; ca. 200 m/min), ausreichender Wasserkühlung und einer Belastung des Schlittens von 50 g wurden die Weisheitszahnwurzeln abgetrennt. Die Sägeblattdicke betrug 0,33 mm. Zur Gewinnung von vier verschiedenen Proben aus einem Zahn wurden von den vier seitlichen Glattflächen der Zahnkrone jeweils eine ca. 1,5 mm dicke Schmelzlamelle parallel zur Zahnoberfläche abgetrennt. Diese vier Proben je Zahn wurden erneut auf einem Plexiglasobjektträger fixiert und mit Hilfe des Mikroschleifsystems (Mat.12) wurde eine plane Oberfläche geschaffen, die noch vollständig schmelzbegrenzt war. Unter ständiger Wasserkühlung wurde die äußere Wölbung mit Schmirgelpapier der Körnung 800 geglättet. Die Proben wurden abschließend unter einem Stereomikroskop (Mat.13) kontrolliert, ob die Oberfläche noch komplett im

Zahnschmelz lag. Danach wurden die Proben mit einem Einmalskalpell (Mat.14) von den Plexiglasobjektträgern abgelöst. Der Substanzabtrag betrug im Durchschnitt 300 µm, die Dicke der Schmelzproben betrug ca. 1- 1,4 mm. Für die beiden in situ Versuche wurden 60 Zähne präpariert. Die Proben wurden für jeden einzelnen Zahn in Plexiglasbehältern (Mat.15) mit gesättigter Thymollösung aufbewahrt. Die vier vorbehandelten Probenflächen eines jeden Zahnes wurden nebeneinander auf einen Plexiglasobjektträger mit lichthärtendem Kunststoff fixiert. Um aus den planen Flächen gleich große Proben zu erhalten, wurden runde Zylinder mit Hilfe eines Hohlbohrers (Mat.16) herauspräpariert. Der Außendurchmesser des Hohlbohrers betrug 5 mm. Der Bohrer wurde in ein Handstück (Mat.17) eingespannt, das in einem Bohrständer (Mat.18) befestigt war. Die Bohrungen erfolgten senkrecht zur Probenoberfläche bei einer Bohrgeschwindigkeit von 25.000 U/min. Die Proben wurden anschließend mit einem Einmalskalpell gelöst. Eventuelle Unebenheiten der Proben wurden durch nochmaliges Schleifen mit dem Mikroschleifsystem entfernt. Die Seitenfläche, sowie die zum Dentin zeigende Probenrückseite wurden mit leicht erhitztem, gerade flüssigem Gusswachs (Mat.19) versiegelt, so dass nur noch die plane, runde Schmelzoberfläche zugänglich war. Die Proben wurden unter einem Stereomikroskop auf eventuelle Wachsverunreinigungen untersucht. Die versuchsrelevante Fläche betrug in der ersten Versuchsreihe 10,11 mm² und in der zweiten 10,77 mm². Bis zum Beginn der Versuche wurde jede Probe in einem eigenen Kunststoffreagenzglas (Mat.20) mit einer feuchten Watterolle (Mat.21) aufbewahrt. Vor der Fluoridierung und Einarbeitung wurden alle Proben für einen Zeitraum von einer Stunde in 96%-igem Alkohol (Mat.22) desinfiziert.

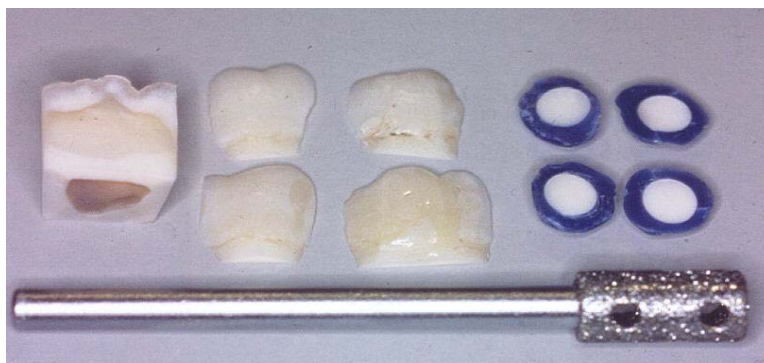


Abbildung 1: Übersicht über die einzelnen Schritte zur Probenherstellung

Die Fluoridierung der Proben erfolgte mit „Elmex Fluid“ (Mat.23) mit 1% Fluoridgehalt, bestehend aus den Aminfluoriden Olaflur (12,126 g pro 100 g) und Dectaflur (1,150 g pro 100 g). Mit Hilfe einer Pipette (Mat.24) wurde jeweils 1ml Elmex Fluid in ein Kunststoffreagenzglas pipettiert, so dass die Probe vollständig bedeckt war. Es wurde darauf geachtet, dass die Probe durch eventuelle Oberflächenspannung nicht oben aufschwamm.

Die Kontaktzeit betrug genau 3 Minuten und wurde, wie alle darauffolgenden Schritte, mit einer Stoppuhr (Mat.25) kontrolliert. Nach dreiminütiger Kontaktzeit wurden die Proben in ein kleines Sieb gegeben und eine Minute unter fließendem Leitungswasser abgespült, um die noch restliche, anhaftende Fluoridlösung zu entfernen. Anschließend wurden die Proben tupfend mit einer Papierserviette (Mat.26) getrocknet, so dass eine mechanische Einwirkung auf die Probe ausgeschlossen war. Im darauffolgenden Schritt wurde jede fluoridierte Probe in ein neues Reagenzglas gegeben und je 1ml künstlicher Speichel hinzu pipettiert. Der künstliche Speichel setzt sich aus folgenden Bestandteilen zusammen: 0,4 g Orthophosphorsäure (Mat.27) in 40 ml aqua dest., 1,5 g Kaliumchlorid (Mat.28) in 100 ml destilliertem Wasser, 1 g Natriumhydrogenkarbonat (Mat.29) in 100 ml destilliertem Wasser und 0,22 g Kalziumchlorid (Mat.30) in 100 ml destilliertem Wasser, die Lösung wurde mit destilliertem Wasser auf 1 Liter aufgefüllt und gut durchmischt. Die dicht verschlossenen Reagenzgläser wurden für eine Stunde bei 37°C in ein temperiertes Schüttelbad (Mat.31; Mittlere Schwenkung, Stufe 4) gestellt. Nach einer Stunde wurden die Proben aus dem Schüttelbad herausgenommen und vorsichtig tupfend mit einer Papierserviette getrocknet, zur Vorbereitung der in situ Versuche.

3.3 Aufbau und Durchführung der in situ - Versuche

3.3.1 Auswahl und Vorbereitung der Probanden

Die Versuchsdurchführung erfolgte zweimal mit vier Probanden, die an beiden in situ Versuchen teilnahmen, Einschlusskriterien waren: Die Probanden mussten bei guter Allgemeingesundheit sein und durften keine Medikamente einnehmen. Weiterhin sollte eine gute Mundhygiene vorliegen, sanierte Gebissverhältnisse ohne herausnehmbaren Zahnersatz und ein normaler Speichelfluss. Es wurden große Anforderungen an die Mitarbeit und Zuverlässigkeit der Probanden gestellt. Sie wurden ausführlich über das Ziel dieser Studie informiert und aufgeklärt und gaben ihr Einverständnis. Nach Abformung des Oberkiefers eines jeden Probanden mit Alginat (Mat.32) wurden Gaumenplatten aus Autopolymerisat (Mat.33) angefertigt. Der Halt dieser Platte erfolgte durch zwei Adamsklammern an den ersten Molaren und zwei Ruschankern zwischen den beiden Prämolaren. Diese Gaumenplatten dienten als Träger für die Proben, je nach Anzahl der zu tragenden Proben wurden kreisrunde Einlassungen gefräst, deren Durchmesser nur geringfügig größer war als der der Proben. So war es möglich, die Proben mit Klebewachs (Mat.34) auf gleichem Niveau in die Gaumenplatte einzuarbeiten. Es wurde darauf geachtet, dass die Probenoberflächen nicht mit Klebewachs verunreinigt wurden. Die Platten wurden durchgehend getragen, Ausnahmen bildeten die Zeiten der fluoridfreien Mundhygienemaßnahmen und der Nahrungsaufnahme. Die Reinigung der Platten erfolgte nur auf der Gaumenunterseite.

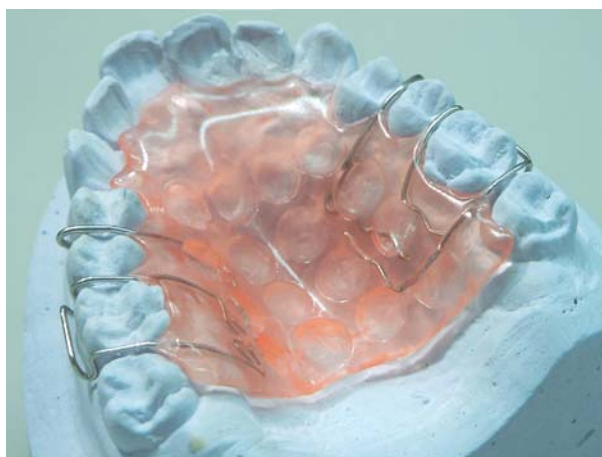


Abbildung 2 : Gaumenplatte ohne Schmelzproben vor Versuchsbeginn

Einige der Vorgänge mussten standardisiert werden, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Vorab wurden mit den Probanden „Trinkübungen“ durchgeführt, um sicher zu stellen, dass die 200 ml des Getränks mit 10 gleich großen Schlucken innerhalb von 2 Minuten mit einer Kontaktzeit am Gaumen von 30 Sekunden getrunken wurden. Dies erfolgte dreimal täglich in einem Rhythmus von 5 Stunden. Jeder Proband erhielt ein Glas (Mat.35), das durch 10 Teilstriche unterteilt war, so dass dies den gleichmäßigen Trinkvorgang erleichterte. Um eine Verfälschung der Ergebnisse auszuschließen musste sichergestellt sein, dass weder endogene noch exogene Fluoridquellen vorhanden waren. Die Probanden erhielten die Anweisung, eine Woche vor und während des Versuchs keine fluoridhaltigen Nahrungsmittel, wie zum Beispiel Fisch, Tee oder fluoridiertes Speisesalz zu sich zu nehmen und keine fluoridhaltigen Zahnpasten oder Mundspüllösungen zu verwenden. In diesem Zeitraum benutzten die Probanden eine fluoridfreie Zahnpasta (Mat.36) der Firma GABA GmbH-elmex Forschung.

3.3.2 Ablauf der in situ - Versuche

Für jede Versuchsreihe wurden 30 Zähne (insgesamt 60 Zähne = 240 Schmelzproben) benötigt, aus denen jeweils vier Proben hergestellt wurden. Die vier Proben eines jeden Zahnes wurden in die Gruppen A, B, C und D unterteilt. Insgesamt wurden 120 Proben für jeden in situ Versuch auf vier Probanden verteilt. Zusätzlich wurden 10 Proben hergestellt, die als Negativkontrolle dienten und der Untergruppe E zugeteilt wurden. Die Proben der Gruppe A wurden nicht in der Mundhöhle getragen, sondern direkt nach Fluoridierung auf ihren Fluoridgehalt untersucht. Die Proben der Gruppe B und C konnten gleichzeitig in die Gaumenplatte eingearbeitet werden. Nach zwei Tagen unter erosiven Bedingungen wurden die Proben der Gruppe B und nach 7 Tagen unter erosiven Bedingungen die Proben der Gruppe C wieder aus den Gaumenplatten entfernt. Im Anschluss wurden die Proben der Gruppe D in die Gaumenplatten eingearbeitet und über einen Zeitraum von 7 Tagen ohne

Erosion getragen. Die Proben wurden auf die vier Probanden wie folgt aufgeteilt. Proband 1 wurden die Schmelzproben 1-7, Proband 2 die Schmelzproben 8-15, Proband 3 die Schmelzproben 16-23 und Proband 4 die Schmelzproben 24-30 zugeteilt. Die Probanden 1 und 4 trugen die Proben von 7 Zähnen und die Probanden 2 und 3 die Proben von 8 Zähnen.

Die Proben wurden wie zuvor beschrieben fluoridiert und nach einstündiger Lagerung im Schüttelbad, in gleicher Reihenfolge in der sie behandelt wurden, in die Gaumenplatte eingearbeitet. Die Proben der gleichen Gruppe wurden willkürlich auf verschiedene Gaumenareale verteilt. Um eine zu starke Austrocknung der Proben zu vermeiden, wurde die Einarbeitungszeit so kurz wie möglich gehalten. Die Proben wurden mit Klebewachs in den vorpräparierten Einlassungen der Gaumenplatte befestigt. Damit bei der Entnahme der Proben keine Verwechslungen auftraten, wurde vorher die Lage der einzelnen Proben mit ihrer entsprechenden Gruppenzugehörigkeit durch einen schriftlichen Lageplan dokumentiert. Abschließend wurden die Probenoberflächen auf Wachsrückstände hin untersucht.

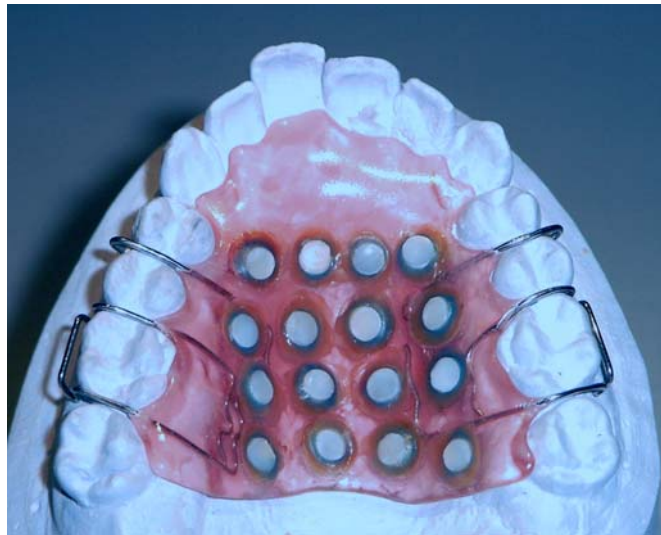


Abbildung 3 : Gaumenplatte mit eingearbeiteten Schmelzproben

In der ersten Woche wurden die Proben der Gruppe B und C getragen. Die Probanden gliederten ihre Gaumenplatte morgens ein und nach einer Stunde erfolgte die erste erosive Einwirkung. Dies erfolgte wie zuvor geübt mit 200 ml „Sprite light“ (Mat.37), welche in 10 gleichmäßig großen Schlucken innerhalb von 2 Minuten getrunken wurde. Durch die Skalierung auf den Gläsern hatte jeder Proband eine Kontrolle, ob er ausreichend große Schlucke trank. Dieser Vorgang wiederholte sich dreimal täglich in einem zeitlichen Abstand von 5 Stunden. Mit Hilfe eines pH-Meters (Mat.38) wurde der pH-Wert von „Sprite light“ ermittelt; er betrug nach Öffnung der Flasche und Umfüllung in ein offenes Gefäß $\text{pH} = 2,82$.



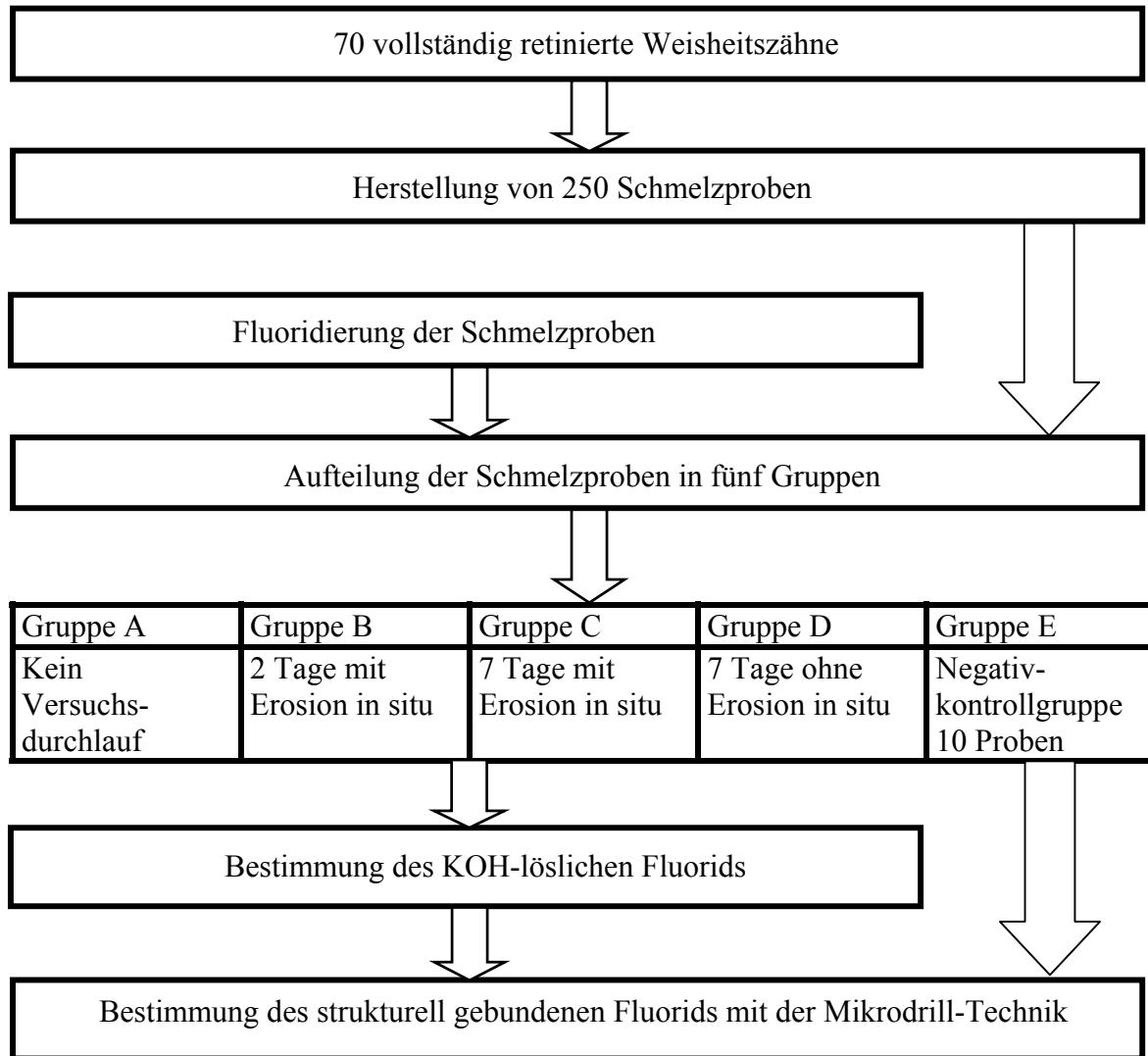
Abbildung 4 : Glas mit Skalierung und Sprite light Flasche

Der erste Versuchsdurchlauf war nach zwei Tagen für die Proben der Gruppe B beendet. Drei Stunden nach der letzten erosiven Einwirkung wurden sie aus der Gaumenplatte entfernt, um die Wachsummantelung der Proben nicht zu beschädigen wurde ein Einmalskalpell verwendet. Die entnommenen Proben wurden entsprechend ihrer Zahn- und Gruppenzugehörigkeit in vorab beschriftete Reagenzgläser gegeben. In diesen befanden sich 0,5 ml einer ein Molaren Kalilauge (Mat.39). Die Reagenzgläser wurden mit einem Kunststoffstopfen verschlossen und für mindestens 24 Stunden in ein Schüttelbad gestellt. Danach wurden die Proben auf ihren Restfluoridgehalt untersucht. (siehe 3.3 und 3.4)

Die freien Einlassungen der Gaumenplatte wurden bis auf Oberflächenniveau mit Klebewachs aufgefüllt. Anschließend wurde die Platte wieder eingegliedert. Die restliche Tragezeit unter erosiven Bedingungen betrug für die Proben der Gruppe C noch 5 Tage. Nach insgesamt 7 Tagen wurden die Proben wie schon zuvor beschrieben aus der Gaumenplatte entfernt und untersucht. In der zweiten Woche wurden die Proben der Gruppe D getragen. Während dieser Tragedauer wurde auf Erosionsvorgänge verzichtet, denn es sollte nur der speichelinduzierte Fluoridverlust gemessen werden. Alle Proben wurden auf die gleiche Art und Weise fluoridiert und in die Gaumenplatte eingebracht. Nach einer Tragezeit von 7 Tagen wurden die Proben der Gruppe D entfernt und untersucht.

Studiendesign

Schematische Übersicht über den in situ Versuch und die Bestimmung von KOH-löslichem und strukturell gebundenem Fluorid



3.4 Bestimmung des Fluoridgehalts

3.4.1 Aufbau der Messapparatur

Zur Messung des Fluoridgehalts wurde eine fluoridionenselektive Elektrode (Mat.40) verwendet. Die verwendete Fluoridelektrode ist mit einem Epoxy-Schutzmantel umkleidet, das wesentliche Element ist eine Lanthan-Fluorid-Eisenkristallmembran und eine innere Referenzableitung. Dieser Kristall ist ein Ionenleiter, in dem sich nur frei bewegliche Fluoridionen befinden. Wenn die Membran mit einer Fluoridlösung in Kontakt kommt, bildet sich an der Membran ein Elektrodenpotential. Dieses Potential wird gegen ein externes konstantes Referenzpotential mit einem spezifischen Ionenmeter (Mat.41) gemessen. Das gemessene Elektrodenpotential entspricht der Konzentration der Fluoridionen, die sich in der Lösung befinden. Die Messungen wurden in einer thermostatisierten Messzelle (Mat.42) durchgeführt. Das Wasser innerhalb der Messzelle wurde auf 25°C vortemperiert. Die Messlösungen in den Reagenzgläsern wurden mit einem Reagenzglasständer (Mat.43) in das Wasserbad des Temperierbades (Mat.44) gestellt und ebenfalls vortemperiert. Somit konnte eine Temperaturschwankung durch Abkühlung auf Zimmertemperatur vermieden werden.

3.4.2 Messvorgang und Bestimmung von KOH-löslichem Fluorid

Zur Bestimmung der Konzentrationen des KOH-löslichen Fluorids wurde die Methode nach Caslavská et al. (1975) verwendet. Jede Probe wurde einzeln in ein verschließbares Reagenzglas mit 0,5 ml ein molare KOH-Lösung gegeben. Anschließend wurden die Proben für 24 Stunden im Schüttelbad bei 37°C gelagert. Nach der Entnahme der Reagenzgläser aus dem Schüttelbad wurden 0,5 ml ein molare Salpetersäure (Mat.45) und 3 ml TISAB II (Mat.46) hinzugefügt. Der Inhalt jedes einzelnen Reagenzglases betrug 4 ml. Nachdem die Mischung der Lösung beendet war, wurden die Proben mit Hilfe

eines Metallspatels (Mat.47) aus den Reagenzgläsern entnommen.

Die Reagenzgläser wurden danach umgehend wieder mit einem Kunststoffstopfen verschlossen, um Verdunstungseffekte zu vermeiden.

Vor der Konzentrationsmessung wurde die Elektrodensteilheit bestimmt und die Elektrode geeicht. Die Eichung erfolgte mit Fluorid Standardlösung (Mat.48). Diese wurde mit Aqua dest. auf eine Konzentration von 1 ppm verdünnt, da in diesem Messbereich die zu erwartenden Messwerte lagen. Die Proben wurden vor dem Messvorgang für mindestens 30 Minuten auf 25°C im Wasserbad vortemperiert, so dass sich die Lösung im Reagenzglas auf diese Temperatur einstellen konnte. Vor jeder Messung wurde die Elektrode mit ausreichend destilliertem Wasser abgespült und mit einer Papierserviette tupfend getrocknet um Verschleierungseffekte zu vermeiden. Die Elektrode wurde vorsichtig mit einem Sicherheitsabstand von mindestens 3 cm zum Rührmagneten (Mat.49) eingetaucht, es musste darauf geachtet werden, dass sich keine Luftblase auf der Elektrodenunterseite befand. Der Magnetrührer (Mat.50) wurde auf eine Geschwindigkeit von 250 Umdrehungen pro Minute eingestellt, um eine Strudelbildung zu vermeiden. Der Messvorgang bei eingetauchter Elektrode dauerte genau 5 Minuten, danach wurde der ppm-Wert auf dem Display abgelesen und notiert. Die auf dem Display erschienenen Werte wurden anschließend in $\mu\text{g F/cm}^2$ umgerechnet.

3.5 Mikrodrill-Verfahren

Nachdem die Proben aus den Reagenzgläsern mit den angesetzten Lösungen entfernt worden waren, wurde jede Zahnprobe einzeln in einem neuen Reagenzglas mit verschließbarem Kunststoffdeckel trocken gelagert. Die Wachsummantelung der Proben wurde mit einem Einmalskalpell entfernt. Anschließend wurde die Probe auf einen Glasobjektträger mit lichthärtendem Kunststoff befestigt und in ein modifiziertes Mikrodrillgerät eingespannt. Der Hartmetallspiralbohrer (Durchmesser 3 mm) stand senkrecht zur Probenoberseite. Bevor eine Bohrung durchgeführt werden konnte, erfolgte zuerst eine Differenzwägung. Zum Sammeln des anfallenden Bohrstaubs

wurden neue Reagenzgläser mit Kunststoffdeckeln verwendet. Jeder Kunststoffdeckel wurde vor der Bohrung mit Hilfe einer Analysenwaage gewogen und das Gewicht notiert. Die Bohrung erfolgte bei einer Geschwindigkeit von 5000 Umdrehungen pro Minute. Der anfallende Bohrstaub sammelte sich um die Probe herum. Die Tiefenbohrung von 100 µm wurde mit einer Mikrometeruhr genau kontrolliert. Es musste vorsichtig und langsam gearbeitet werden. Nach Abschluss der Bohrung wurde der Glasobjektträger vorsichtig entfernt und der Kunststoffdeckel wurde mit der Öffnung auf die Probe gesetzt. Durch Umdrehen und leichtes Klopfen auf den Objektträger fiel der Bohrstaub in den Deckel. Da sich noch Staubreste an dem Bohrer befanden, wurde dieser ebenfalls durch leichtes Klopfen mit einer Pinzette in den Kunststoffdeckel aufgefangen. Anschließend erfolgte die Differenzwägung des Kunststoffdeckels mit dem gesammelten Bohrstaub. Das Reagenzglas wurde mit der Öffnung auf den Kunststoffdeckel gesetzt und verschlossen. Danach wurde es herumgedreht und der Bohrstaub fiel herunter und sammelte sich am Boden, durch vorsichtiges Klopfen wurden Staubreste aus dem Kunststoffdeckel in das Reagenzglas befördert. Vor jeder neuen Bohrung wurde der Bohrer bei laufender Umdrehung mit einem kleinen Pinsel (Mat.51) von noch eventuell vorhandenen Bohrstäuben gereinigt.



Abbildung 5 : Modifizierte Mikrodrill-Apparatur mit Schmelzprobe

3.5.1 Bestimmung von strukturell gebundenem Fluorid

Zur Bestimmung des strukturell gebundenen Fluorids wurde der Bohrstaub mit 0,5 ml einer molaren Perchlorsäure (Mat.52) versetzt. Anschließend wurden die Reagenzgläser wieder luftdicht verschlossen und für mindestens eine Stunde bei 37°C im Schüttelbad gelagert. Nach der Entnahme der Reagenzgläser aus dem Schüttelbad wurden noch 3,5 ml TISAB II hinzupipettiert, so dass das Volumen der Probenlösung 4 ml betrug. Die Konzentration der verwendeten Eichlösung betrug 0,1 ppm, da in diesem Bereich die zu erwartenden Messwerte lagen. Die ermittelten Fluoridkonzentrationen wurden auf das zuvor bestimmte Gewicht bezogen und im Ergebnisteil in $\mu\text{g F/g}$ (ppm) angegeben (siehe 3.4, 3.5).

pH-Werte der verwendeten Substanzen bei der Versuchsdurchführung :

fluoridfreie Zahnpasta = 7,19

Elmex fluid = 4,17

künstlicher Speichel = 6,46

Sprite light = 2,82

KOH = 13,8

Salpetersäure = 0,53

TISAB II = 5,2

HClO₄ = 0,6

3.6 Statistik

Nach Eingabe der Messwerte erfolgte die statistische Auswertung mit Hilfe des Programms SPSS 10.0 für Windows. Eine Normalverteilung der Stichproben wurde für jede Versuchsgruppe mit Hilfe des Kolmogorov-Smirnov-Testes festgestellt. Der Vergleich zwischen den Gruppen erfolgte mit dem t-Test für abhängige Stichproben. Der Vergleich der beiden Versuche untereinander wurde mit dem t-Test bei unabhängigen Stichproben durchgeführt.

Bei der Darstellung der Ergebnisse gelten folgende Abkürzungen :

\bar{x}	=	arithmetischer Mittelwert
s	=	Standardabweichung
MIN	=	Minimalwert
MAX	=	Maximalwert
p	=	Irrtumswahrscheinlichkeit
ns	=	nicht signifikant
*	=	$p \leq 0,05$
**	=	$p \leq 0,01$
***	=	$p \leq 0,001$
n	=	Anzahl der Proben

Die Ergebnisse wurden in Form von Boxplots (Abb. 6) zusammengefasst. Während die Kästen (Boxes) den Bereich angeben, in den 50% der Werte zwischen das 25. und 75. Perzentil fallen, erstrecken sich die Linien zum jeweils höchsten und niedrigsten Wert. Ausreißer, sogenannte Fälle, deren Werte mehr als 1,5 Boxlängen von der Boxbegrenzung entfernt liegen, wurden nicht angegeben. Innerhalb der Kästen sind die jeweiligen Medianwerte in Form von Querbalken markiert.

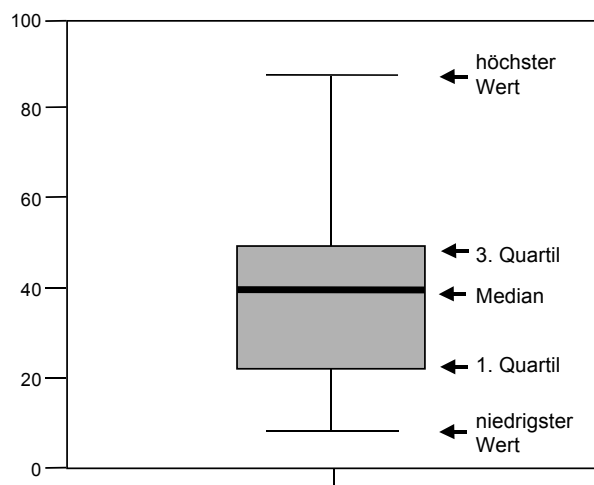


Abb. 6

3.7 Materialien- und Chemikalienliste

- Mat. 1: Thymol Pulver, Fluka Chemie AG Buchs (CH)
- Mat. 2: Schmirgelpapier fe 50, WB Flex 18A, Körnung P-800,
Körnung, Hermes (D)
- Mat. 3: 50 Objektträger ca. 76 x 26 mm, Menzel Gläser
- Mat. 4: Fixationskleber Technovit 7230 VLC, Kulzer-Exakt, Werheim (D)
- Mat. 5: Bohrer, Komet Gebr. Brasseler GmbH und Co. Kg, Lemgo (D)
- Mat. 6: Mikrometeruhr, Mitutoyo No. 2046-08, Made in Japan
- Mat. 7: Analysenwaage, Mettler, E. Mettler Zürich Feinwaage
- Mat. 8: Polymerisationslichtgerät, Translux CL Kulzer, Wehrheim (D)
- Mat. 9: Plexiglasobjektträger 5 x 10 cm, Exakt-Apparatebau
O. Herrmann Norderstedt, (D)
- Mat. 10: Exakt-Trennschleifsystem, Exakt-Apparatebau
O. Herrmann, Norderstedt (D)
- Mat. 11: Vakuumpumpe, Typ N022 AN.18, Exakt-Apparatebau
O. Herrmann, Norderstedt (D)
- Mat. 12: Exakt-Mikroschleifsystem, Exakt-Apparatebau,
O. Herrmann Norderstedt (D)
- Mat. 13: Stereolichtmikroskop, Leitz Wetzlar (D)
- Mat. 14: Einmalskalpell Nr.11, Aesculap (D)
- Mat. 15: Plexiglasbehälter, Greiner Labortechnik, Solingen (D)
- Mat. 16: Hohlbohrer, Außendurchmesser 5mm, Rio Grande, Albuquerque
(USA)
- Mat. 17: Handstück, Typ 950 KaVO, Biberach (D)
- Mat. 18: OBI-OTTO, Bohrständer für Bohrmaschinen und
Fräsmotoren mit 43-mm-Spannhals Durchmesser
Maschinenaufnahme 360° schwenkbar Hub 90 mm
Bestell-Nr. 209081 D
- Mat. 19: Gusswachs, Orbis dental
- Mat. 20: Kunststoffreagenzglas, Firma Sarstedt, Nürnbergrecht (D)
- Mat. 21: Watterolle, roeko, Langenau (D)

Mat. 22: 96 % Ethylalkohol, Merck, Darmstad (D)

Mat. 23: Elmex Fluid, GABA - GmbH - elmex Forschung, Wybert Lörrach (D)

Mat. 24: Pipette Varipette, Eppendorf, Hamburg (D)

Mat. 25: Stoppuhr, Eurochron Junghans Uhren GmbH, Schramberg (D)

Mat. 26: Papierserviette, Tork SCA Hygiene Products, Wien, (A)

Mat. 27: Orthophosphorsäure 99%, Merck, Darmstadt (D)

Mat. 28: Kaliumchlorid, Merck, Darmstadt (D)

Mat. 29: Natriumhydrogenkarbonat, Merck, Darmstadt (D)

Mat. 30: Kalziumchlorid, Merck, Darmstadt (D)

Mat. 31: Schüttelbad Typ Nr. 3047, Köttermann, Häningsen (D)

Mat. 32: Alginat Palgat plus, Firma Espe, Seefeld (D)

Mat. 33: Orthocryl, Polymethylmethacrylat, Dentaureum, Ispringen (D)

Mat. 34: Klebewachs Supradent, Oppermann-Schwedler, Bonn (D)

Mat. 35: Kölner Stange Ruhr Kristall Glas, GmbH Essen (D)

Mat. 36: Fluoridfreie Zahnpasta, GABA – GmbH – elmex Forschung,
Wybert Lörrach (D)

Mat. 37: Sprite light, Coca-Cola GmbH, Essen (D)

Mat. 38: pH-Meter 761, Calimatic, Knick (D)

Mat. 39: Kalilauge, 1 mol/l, Merck, Darmstadt (D)

Mat. 40: Fluorid-Elektrode, Modell Orion 960900, Colora
Analysetechnik, Berlin (D)

Mat. 41: Ionenmeter, Modell Orion 901, Colora Analysetechnik, Berlin (D)

Mat. 42: Thermostatisierte Messzelle, Gebrüder Rettberg, Göttingen (D)

Mat. 43: Reagenzglasständer, Roth, Karlsruhe (D)

Mat. 44: Temperierbad, Typ NB S 15/16, Messgerätewerk Dr.Wobser, Lauda
(D)

Mat. 45: Salpetersäure 1 mol/l, Merck, Darmstadt (D)

Mat. 46: Ionenpuffer, TISAB II, Orion Research Beverly, (USA)

Mat. 47: Metallspatel, Hammacher, Solingen (D)

Mat. 48: Fluorid-Standard, 9869 Titrisol, Merck, Darmstadt (D)

Mat. 49: Magnetrührer, IDL Windaus Labortechnik, Magdeburg (D)

Mat. 50: Magnetrührgerät, IKAMG RET, Janke und Kunkel, Staufen (D)

Mat. 51: Einwegpinselköpfe, 3M Espe, Seefeld (D)

Mat. 52: Perchlorsäure, 1 mol/l, Merck, Darmstadt (D)

4 Ergebnisse

4.1 KOH-lösliches Fluorid der in situ Versuche I und II

Die Durchführung der in situ Versuche sowie das Tragen der Gaumenplatte gestaltete sich problemlos, keiner der Probanden klagte über Druckstellen oder sonstige Beschwerden. Alle Probanden gaben an, die vorgegebenen Versuchsbedingungen eingehalten zu haben. So konnten alle 240 Schmelzproben verwendet und ausgewertet werden.

Tabelle 2: KOH-lösliches Fluorid auf dem Schmelz in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ bei den einzelnen Gruppen des in situ Versuchs I: Gruppe A direkt nach der Fluoridierung, Gruppe B nach 2 Tagen, Gruppe C nach 7 Tagen unter Säureeinwirkung durch Sprite light und Gruppe D nach 7 Tagen ohne Säureeinwirkung.

in situ Versuch I	\bar{x}	Median	s	Min	Max	N
Gruppe A direkte Fluoridanalyse	66,2	62,4	33,2	17,7	173,1	30
Gruppe B zwei Tage Erosion	54,1	53,9	10	36,1	77,8	30
Gruppe C sieben Tage Erosion	40,4	40,7	12,5	13,2	62,4	30
Gruppe D sieben Tage ohne Erosion	37,6	35,9	15,6	18,4	88,1	30

Die Ergebnisse des in situ Versuchs I sind in Abbildung 7 dargestellt.

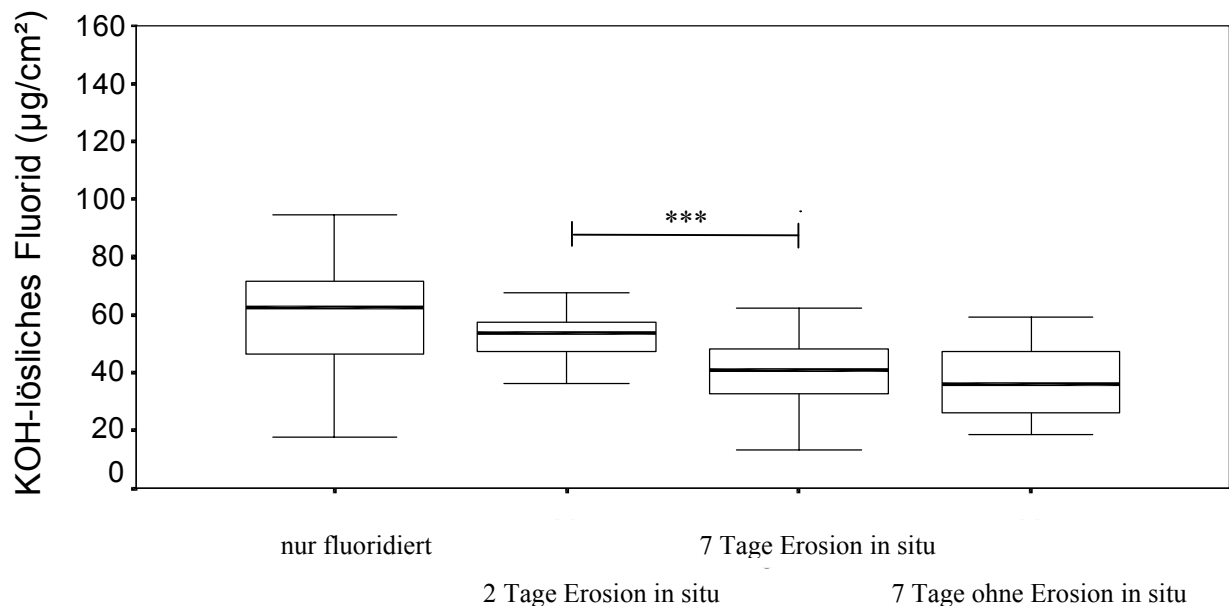


Abbildung 7 : KOH-lösliches Fluorid ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) auf dem Schmelz direkt nach der Fluoridierung, nach 2 und nach 7 Tagen unter Säureeinwirkung durch Sprite light und nach 7 Tagen ohne Säureeinwirkung in situ in Versuch I.

Im Laufe der Versuchsdauer wurde eine relativ gleichmäßige Abnahme des Fluoridgehaltes der Proben gemessen (Abb. 7). Alle signifikanten Unterschiede sind in dieser, sowie in den folgenden Abbildungen durch Linien mit Sternen zum Kennzeichnen des Signifikanzniveaus ausgewiesen. Bei den Schmelzproben des ersten Versuchsdurchgangs fand sich direkt nach der Fluoridierung ein Fluoridgehalt von $66,2 \pm 33,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Unter erosiven Bedingungen in der Mundhöhle waren nach 2 Versuchstagen noch $54,1 \pm 10 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (81,7%) und nach 7 Versuchstagen noch $40,4 \pm 12,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (61%) nachweisbar ($p \leq 0,001$). Bei den Proben, die nicht unter erosiven Bedingungen getragen worden waren fand sich noch ein Fluoridgehalt von $37,6 \pm 15,6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (56,8%).

Tabelle 3: KOH-lösliches Fluorid auf dem Schmelz in $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ der einzelnen Gruppen des in situ Versuchs II: Gruppe A direkt nach der Fluoridierung, Gruppe B nach 2 Tagen , Gruppe C nach 7 Tagen unter Säureeinwirkung durch Sprite light und Gruppe D nach 7 Tagen ohne Säureeinwirkung.

in situ Versuch II	\bar{x}	Median	S	Min	Max	N
Gruppe A direkte Fluoridanalyse	98,9	92,4	24	68,8	197,9	30
Gruppe B zwei Tage Erosion	66,8	66,2	11,8	44,7	92,1	30
Gruppe C sieben Tage Erosion	48,3	42,2	16	25,3	89,7	30
Gruppe D sieben Tage ohne Erosion	50,2	45,6	17,2	22,6	97,5	30

Die Ergebnisse des in situ Versuchs II sind in Abbildung 8 dargestellt.

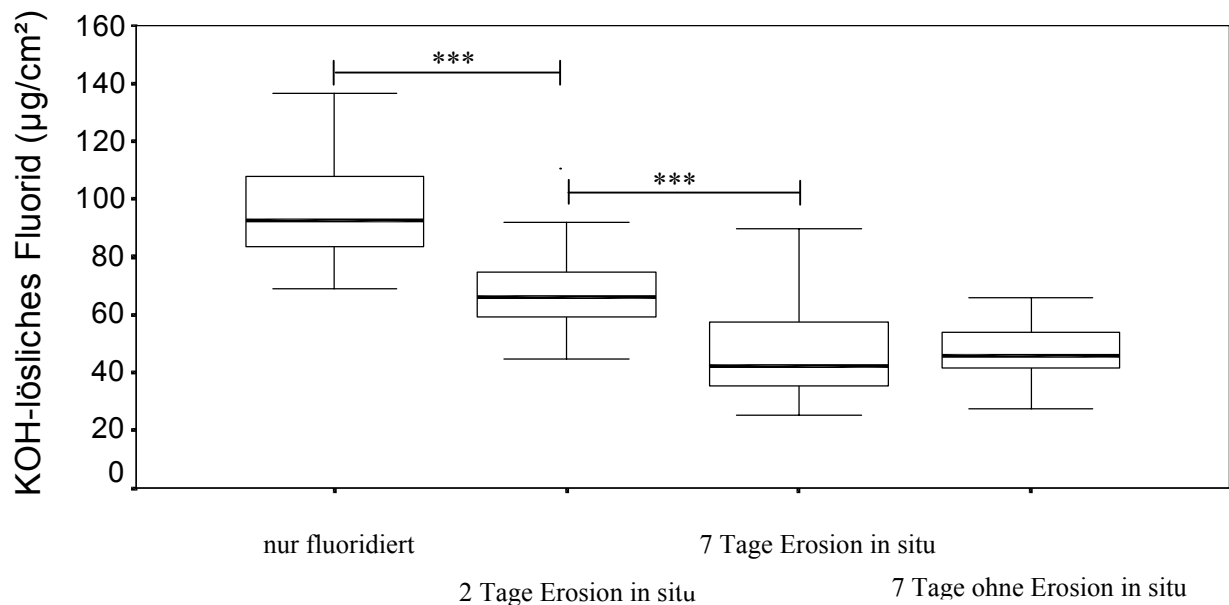


Abbildung 8 : KOH-lösliches Fluorid ($\mu\text{g}/\text{cm}^2$) auf dem Schmelz direkt nach der Fluoridierung, nach 2 und nach 7 Tagen unter Säureeinwirkung durch Sprite light und nach 7 Tagen ohne Säureeinwirkung in situ in Versuch II.

Bei den Schmelzproben des zweiten Versuchsdurchgangs fand sich direkt nach der Fluoridierung mit $98,9 \pm 24,0 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ ebenfalls eine gute Anreicherung mit Fluorid. Bereits nach 2 Tagen Versuchszeit unter sauren Bedingungen im Mund war mit $66,8 \pm 11,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (67,5%) ebenso wie in Versuchsdurchgang eins eine Abnahme des Fluoridgehaltes nachweisbar und nach weiteren 5 Tagen mit $48,3 \pm 16 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ hatte sich der Fluoridgehalt mit 49% um die Hälfte reduziert (p jeweils $\leq 0,001$). Ohne Säureeinwirkung fand sich nach 7 Tagen noch ein Fluoridgehalt von $50,2 \pm 17,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (51%) (Abb. 8).

4.1.1 Vergleich der Ergebnisse der beiden in situ Versuchsdurchgänge für KOH-lösliches Fluorid

Durch die Fluoridapplikation wurden die Schmelzproben in beiden Versuchsdurchgängen deutlich mit Fluorid angereichert. Der Anfangsfluoridgehalt betrug im ersten Versuchsdurchgang $66,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und im zweiten Versuchsdurchgang $98,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. In beiden in situ Versuchen zeigte sich im Laufe der Versuchsdauer eine signifikante Abnahme des Fluoridgehalts. Nach zwei Tagen unter erosiven Bedingungen waren beim ersten Versuchsdurchgang noch 81,7% und im zweiten Versuchsdurchgang noch 67,5% ($p \leq 0,001$) des Anfangsfluoridgehalts vorhanden.

Nach 7 Versuchstagen unter erosiven Bedingungen fanden sich im ersten Versuchsdurchgang nur noch 61% des Anfangsfluoridgehalts und im zweiten Versuchsdurchgang hatte sich der Fluoridgehalt um die Hälfte auf 49% reduziert ($p \leq 0,001$).

Die Proben der Gruppen, die nicht unter erosiven Bedingungen getragen wurden, zeigten in beiden in situ Versuchen ähnliche Restfluoridgehalte von 56,8% im ersten Versuchsdurchgang und 51% im zweiten Versuchsdurchgang (ns).

Beim Vergleich der Ergebnisse der beiden Gruppen, die 7 Tage unter erosiven Bedingungen getragen wurden, mit denen die 7 Tage keiner Erosion ausgesetzt waren, finden sich ähnliche Restfluoridgehalte von 61% beziehungsweise 49% nach siebentägiger Erosion und 56,8% beziehungsweise 51% ohne Erosion.

Insgesamt kann bei dem Vergleich der Ergebnisse beider Versuchsdurchgänge festgehalten werden, dass unter erosiven Bedingungen eine deutliche Abnahme von zuvor angereichertem Fluorid stattfindet. Der höchste Fluoridgehalt wurde in den Gruppen A, in denen keine Erosionen durchgeführt wurde, gefunden.

4.2 Strukturell gebundenes Fluorid der in situ Versuche I und II

Tabelle 4: Strukturell gebundenes Fluorid im Schmelz in ppm bei den einzelnen Gruppen des in situ Versuchs I: Gruppe A direkt nach der Fluoridierung, Gruppe B nach 2 Tagen, Gruppe C nach 7 Tagen unter Säureeinwirkung durch Sprite light und Gruppe D nach 7 Tagen ohne Säureeinwirkung.

in situ Versuch I	\bar{x}	Median	S	Min	Max	N
Gruppe A direkte Fluoridanalyse	503,5	416,5	252,2	203	1207,4	30
Gruppe B zwei Tage Erosion	339,8	196,2	308,5	72,5	1354,6	30
Gruppe C sieben Tage Erosion	190,7	171,2	107,3	32,6	591,3	30
Gruppe D sieben Tage ohne Erosion	425,5	376,9	261,7	82	967,7	30

Die Ergebnisse des strukturell gebundenen Fluorids in Versuch I sind in ppm in Abbildung 9 dargestellt.

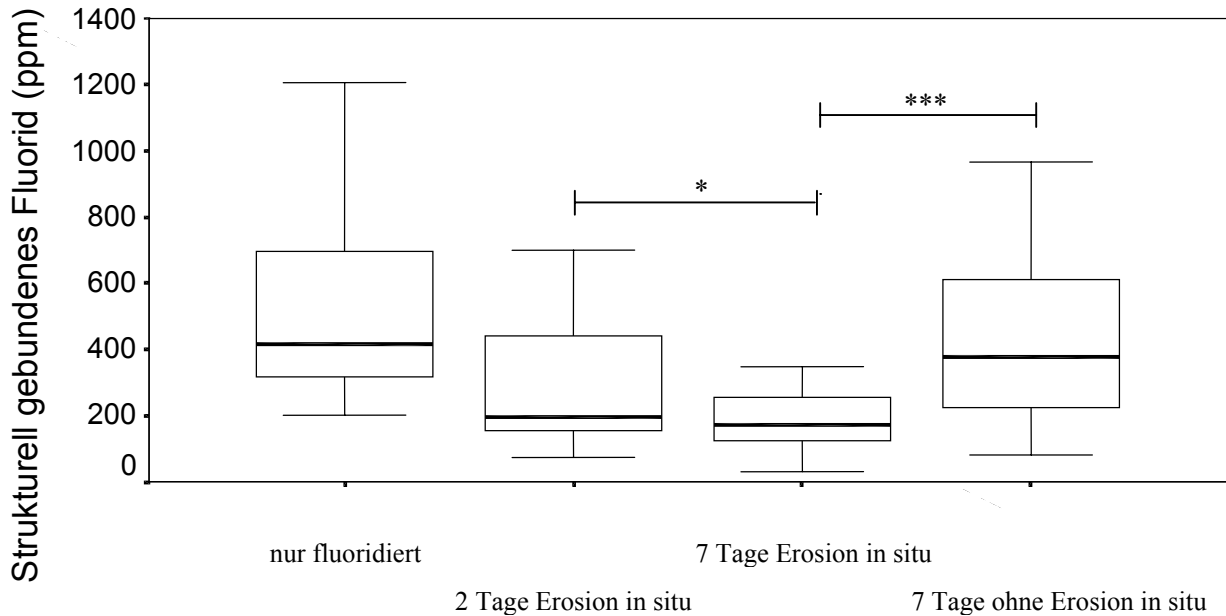


Abbildung 9: Strukturell gebundenes Fluorid (ppm) im Schmelz nach der Fluoridierung, nach 2 Tagen und nach 7 Tagen unter Säureeinwirkung durch Sprite light und nach 7 Tagen ohne Säureeinwirkung in situ in Versuch I.

Für die Bestimmung des strukturell gebundenen Fluorids wurden nur 234 Schmelzproben plus 10 Proben der Kontrollgruppe ausgewertet.

Der Anteil von strukturell gebundenem Fluorid betrug direkt nach der Applikation im ersten Versuchsdurchgang $503,5 \pm 252,2$ ppm. Nach 2 Versuchstagen unter sauren Bedingungen waren noch $339,8 \pm 308,5$ (67,5%) und nach 7 Versuchstagen noch $190,7 \pm 107,3$ ppm (37,7%) ($p \leq 0,05$) nachweisbar. Die Schmelzproben die 7 Tage ohne Säureeinwirkung getragen worden waren, wiesen einen Fluoridgehalt von $425,5 \pm 261,7$ ppm (84,5%) auf (Abb. 9). Der strukturell gebundene Fluoridgehalt betrug für die 10 Schmelzproben der Negativkontrollgruppe, welche nicht fluoridiert wurden, durchschnittlich 64 ppm.

Tabelle 5: Strukturell gebundenes Fluorid im Schmelz in ppm der einzelnen Gruppen des in situ Versuchs II:
Gruppe A direkt nach der Fluoridierung, Gruppe B nach 2 Tagen, Gruppe C nach 7 Tagen unter
Säureeinwirkung durch Sprite light und Gruppe D nach 7 Tagen ohne Säureeinwirkung.

in situ Versuch II	\bar{x}	Median	s	Min	Max	N
Gruppe A direkte Fluoridanalyse	508,2	377,1	384,2	132,9	1913	30
Gruppe B zwei Tage Erosion	629,2	441	511,4	123,2	1818,2	28
Gruppe C sieben Tage Erosion	556,3	381,1	362,6	117,1	1256,6	29
Gruppe D sieben Tage ohne Erosion	799,9	786,2	412,2	53,5	1495,2	27

Die Ergebnisse des strukturell gebundenen Fluorids in Versuch II sind in ppm in
Abbildung 10 dargestellt.

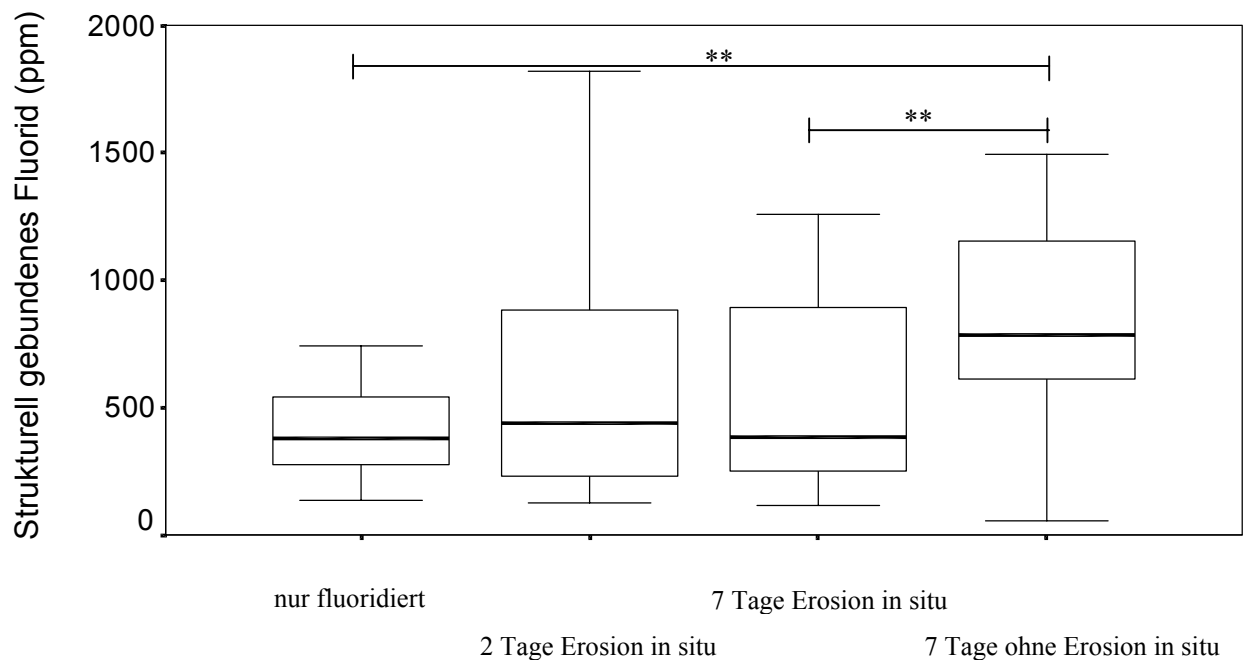


Abbildung 10: Strukturell gebundenes Fluorid (ppm) im Schmelz nach der Fluoridierung, nach 2 Tagen und
nach 7 Tagen unter Säureeinwirkung durch Sprite light und nach 7 Tagen ohne Säure-
einwirkung in situ in Versuch II.

Im zweiten Versuchsdurchgang betrug der strukturell gebundene Fluoridgehalt unmittelbar nach Fluoridapplikation $508,2 \pm 384,2$ ppm. Nach zweitägiger Säureeinwirkung fand sich eine Zunahme des strukturell gebundenen Fluorids von 23% ($629,2 \pm 511,4$ ppm) gegenüber dem Anfangsfluoridgehalt. Auch nach weiteren fünf Tagen kam es zu einer Zunahme des Fluoridgehalts der Proben von 9,5% ($556,3 \pm 362,6$ ppm) gegenüber dem Ausgangswert. Bei den Proben, die 7 Tage ohne Säureeinwirkung getragen worden waren betrug der Anteil an strukturell gebundenem Fluorid $799,9 \pm 412,2$ ppm und lag somit um + 57,4% über dem Anfangsfluoridgehalt (Abb. 10).

4.2.2 Vergleich der Ergebnisse der beiden in situ Versuchsdurchgänge für strukturell gebundenes Fluorid

Die Ergebnisse des ersten und zweiten Versuchsdurchgangs unterscheiden sich recht deutlich. Direkt nach der Fluoridierung wurden in beiden Versuchsdurchläufen ähnliche Werte von $503,5 \pm 252,2$ ppm beziehungsweise $508,2 \pm 384,2$ ppm ermittelt. Nach 2 Versuchstagen unter erosiven Bedingungen hatte sich der Anteil an strukturell gebundenem Fluorid im ersten Versuchsdurchgang auf 67,5% reduziert, wohingegen der Fluoridgehalt im zweiten Versuchsdurchgang zunahm und mit + 23% über dem Anfangsfluoridgehalt lag.

Nach siebentägiger Erosion wurde in beiden Versuchsgruppen eine Reduktion des Fluoridgehalts beobachtet, der Anteil des strukturell gebundenen Fluorids hatte sich im ersten Versuchsdurchgang weiterhin auf 37,9% reduziert. Der Fluoridgehalt im zweiten Versuchsdurchgang hatte sich ebenfalls verringert, jedoch lag der Gehalt weiterhin mit + 9,5% über dem Anfangsfluoridgehalt. Die Proben, die 7 Tage ohne Säureeinwirkung getragen wurden, wiesen im ersten Versuchsdurchgang nur einen geringen Verlust an strukturell gebundenem Fluorid 84,5% (ns) auf. Im Vergleich dazu fand sich im zweiten Versuchsdurchgang eine Zunahme des Fluoridgehalts von 57,4% gegenüber dem Ausgangswert ($p \leq 0,01$).

5 Diskussion

5.1 Versuchsaufbau und –durchführung

5.1.1 Probenmaterial

Der Fluoridgehalt in menschlichem Zahnschmelz kann durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden. Um einen annähernd gleichen Basisfluoridgehalt des Probenmaterials zu gewährleisten, wurden zur Probengewinnung ausschließlich vollständig retinierte und verlagerte menschliche dritte Molaren verwendet. Dadurch konnte eine Exposition zur Mundhöhle und eine damit verbundene exogene Fluoridanreicherung ausgeschlossen werden. Mit dem Zahndurchbruch kommt es im Sinne einer post-eruptiven Schmelzreifung in Abhängigkeit von Alter und Lebensumständen zur Einlagerung von Kalzium, Phosphat und Fluorid. Ein weiterer Faktor, der die Fluoridkonzentration im Zahnschmelz beeinflusst, ist der Fluoridgehalt im Trinkwasser.

Die von uns verwendeten Zähne stammten von Personen aus dem Umkreis von Giessen mit einem Trinkwasserfluoridgehalt von $< 0,1$ mg/l und dem Erftkreis mit einem Trinkwasserfluoridgehalt von $< 0,15$ mg/l. Beide Regionen weisen einen niedrigen Trinkwasserfluoridgehalt auf.

Die durchschnittliche Fluoridkonzentration der Kontrollproben betrug in den äußeren 100 μm des Zahnschmelzes 64 ppm. Eine Studie von Robinson et al. (1996) bestätigt, dass in den äußeren 100 μm menschlichen Zahnschmelzes der Anteil des strukturell gebundenen Fluorids im Durchschnitt weniger als 100 ppm beträgt.

Der Fluoridgehalt des Zahnhartgewebes kann individuell sowie regional bedingt sehr unterschiedlich sein. In einer amerikanischen in vivo Studie aus dem Jahr 1971 wurde der Fluoridgehalt im Schmelz von Kindern untersucht, die in einer Region (Salem) mit einem Trinkwasserfluoridgehalt von 1 ppm aufgewachsen sind und in einer Region (Hyannis, Massachusetts) ohne Fluorid im Trinkwasser ($< 0,1$ ppm). Der Fluoridgehalt wurde an den oberen mittleren und seitlichen Schneidezähnen sowie an den ersten Molaren bestimmt. Bei den Kindern aus Salem betrug die durchschnittliche Fluoridkonzentration der mittleren Schneidezähne in einer Tiefe von 0,5 μm 3000 ppm und bei den Kindern aus Hyannis 2100 ppm. Vergleiche zwischen den seitlichen Schneidezähnen und den ersten

Molaren lieferten ähnliche Ergebnisse (Aasenden et al., 1971). Eine neuere Untersuchung konnte bestätigen, dass die Fluoridkonzentration im Zahnhartgewebe durch den Fluoridgehalt im Trinkwasser beeinflusst wird. Bei einem Vergleich extrahierter Prämolaren von deutschen und japanischen Schulkindern zeigte sich, dass die Fluoridkonzentration der Zahnproben aus Chemnitz, mit einem Trinkwasserfluoridgehalt von 1 ppm, in jeder Schichttiefe sowohl im Schmelz als auch im Dentin 2 bis 3 mal höher war als die Proben aus Erfurt und Nagoya mit einem Trinkwasserfluoridgehalt von < 0,2 ppm. Die Fluoridkonzentration stieg von der Schmelz - Dentin - Grenze zur Pulpa - Dentin - Grenze an (Takeuchi et al., 1996).

Zahnschmelz reagiert bei Kontakt mit Säuren sehr unterschiedlich. Klinische Beobachtungen von Asher und Read (1987) konnten zeigen, dass Zahnschmelz frisch durchgebrochener Zähne bei einem exzessiven Konsum von Zitronensäure äußerst empfindlich für Erosionen ist. Eine Zitronensäureapplikation kann zu kaum wahrnehmbaren Veränderungen bis hin zu massiven Ätزشäden im Schmelz führen (Noack, 1989). Es wird diskutiert, dass der Mineralisationsgrad und die damit verbundene Säurelöslichkeit innerhalb eines Zahnes an den verschiedenen Flächen variiert, sowie erhebliche Unterschiede bei verschiedenen Zähnen von verschiedenen Personen auftreten können. Bei verschiedenen Schmelzflächen innerhalb eines Zahnes konnten keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der Erosionsempfindlichkeit festgestellt werden. Beim Vergleich verschiedener Zähne kann die Erosionsempfindlichkeit und der Substanzabtrag jedoch erheblich variieren (Ganss et al., 2000). Um zu vermeiden, dass mögliche Unterschiede im Fluoridgehalt zwischen verschiedenen Zähnen das Ergebnis beeinflussen, wurden nur Zähne verwendet, aus denen vier Proben gewonnen werden konnten. Die Proben wurden zufällig auf vier Versuchsgruppen verteilt.

Bei der weiteren Vorbereitung der Proben erfolgte ein Abtrag der äußeren Schichten, bis sich eine plane Fläche ergab. Die Politur der Proben führt zur Entfernung des oberflächlichen prismenfreien Schmelzes, der eine größere Resistenz gegenüber Säureeinwirkung besitzt (Davis und Winter, 1980; Meurman und Frank, 1991). Polierte Schmelzproben sind weitaus empfindlicher für Erosionen als unpolierte Schmelzproben. Die Entfernung des prismenfreien Schmelzes ermöglicht einen größeren erosiven Substanzabtrag. Bereits nach einer kurzen Säureapplikation finden sich erosive Veränderungen an der Schmelzoberfläche (Meurman und

Frank, 1991). In der Mundhöhle kommt es bei häufigem Verzehr erosiver Nahrungsmittel und eventuell nachfolgendem mechanischem Abrieb zum Verlust der aprismatischen Schmelzoberfläche und zu ausgeprägten flächenhaften Schmelzdefekten mit Freilegung der Schmelzprismen (Noack, 1989; Lussi et al., 1991). Die Verwendung polierter Schmelzproben stellt annähernd eine vergleichbare Situation dar, wie sie klinisch bei einem Patienten mit häufigem Konsum erosiver Nahrungsmittel besteht (Attin et al., 1996).

5.1.2 Fluoridierung der Schmelzproben

Die Fluoridierung der Schmelzproben erfolgte mit Elmex fluid. Das flüssige Präparat wird zur lokalen Fluoridierung angewendet. 100 g der Lösung enthalten 12,126 g Olaflur und 1,150 g Dectaflur, beides sind Aminfluoride, der Fluoridgehalt beträgt insgesamt 1%. Bei dem verwendeten Präparat handelt es sich um eine gebrauchsfertige Lösung, die frei ist von Farbstoffen, Harzen und Lösungsmitteln, so dass die Proben nach der Fluoridierung leicht zu reinigen waren und Überschüsse sorgfältig entfernt werden konnten. Die Schmelzproben wurden entsprechend der empfohlenen Anwendungsdauer des Herstellers genau 3 Minuten lang fluoridiert. Es wird diskutiert, dass die Bildung eines kalziumfluoridähnlichen Präzipitates durch die Anwesenheit eines Pellikels oder Speichel verringert wird. Nach Joysten-Bechal et al. (1976) sowie Cruz und Rølla (1991) beeinflusst eine Pellikel auf der Zahnoberfläche die Bildung des Präzipitates je nach Art der aufgetragenen Fluoridverbindung nur geringfügig oder gar nicht. Eine neuere Untersuchung konnte zeigen, dass die Menge des präzipitierenden Kalziumfluorids unter anderem von der Anwesenheit von Speichel abhängig sein kann (Larsen und Richards, 2001). Um einen Einfluss des Mundmilieus zu vermeiden, wurden alle Proben einzeln außerhalb der Mundhöhle fluoridiert. Nach der Fluoridierung wurden die Proben eine Minute lang unter fließendem Wasser abgespült und anschließend für eine Stunde in künstlichem Speichel gelagert. Eine mechanische Reinigung der Schmelzproben erfolgte nicht, da dieser Vorgang möglicherweise die Kalziumfluorid-Deckschicht negativ beeinflusst hätte.

Aminfluoride gelten als besonders effektive Fluoridierungsmittel und gewährleisten eine bessere Kalziumfluoridpräzipitation als Natriumfluoride (Petzold, 2001). Eine Untersuchung von Mok et al. (1990) zeigte eine erhöhte Fluoridaufnahme nach der Applikation von Aminfluorid im Vergleich zu Natriumfluorid. Es wird diskutiert, dass sich bei den Aminfluoriden der hydrophile Teil, an dem sich das Fluorid befindet, zur Zahnoberfläche und der hydrophobe Teil zur Mundhöhle ausrichtet. Diese Anordnung führt dazu, dass das Fluorid sehr nahe an die Zahnoberfläche herangeführt wird und so gut für die Bildung eines Fluoridpräzipitates zur Verfügung steht (Zimmer, 1997).

In einer in vitro Studie von Gülzow et al. (1993) wurde die Fluoridaufnahme an Schmelzoberflächen aus Zahnpasten mit unterschiedlichen Fluoridverbindungen untersucht. Der höchste Anstieg der Fluoridkonzentration an der Schmelzoberfläche zeigte sich nach Anwendung einer aminfluoridhaltigen Zahnpasta. Neben der Fluoridverbindung spielt aber auch die Gesamtzusammensetzung der Paste und der Gesamtgehalt an organischem Fluorid eine Rolle, um die Verfügbarkeit des Fluorids und die Ausbildung einer stabilen Fluoriddeckschicht an der Schmelzoberfläche zu gewährleisten.

5.1.3 Erosive Demineralisation

Für die erosive Demineralisation wurde eine handelsübliche Limonade verwendet. Bei der Wahl des sauren Getränks sollte eine gewisse Realitätsnähe angestrebt werden. Sprite light ist eine Zitronenlimonade mit einem pH-Wert von 2,82. Der erosive Charakter von Sprite light konnte bereits in zahlreichen Studien nachgewiesen werden (Lussi et al., 1995; Larsen und Nyvad, 1999; Attin et al., 2000).

Die zunehmende Erosionsprävalenz scheint mit dem steigenden Konsum saurer Erfrischungsgetränke in den letzten Jahrzehnten zu korrelieren. In einer Studie von Ganss et al. (2001) konnte anhand von kieferorthopädischen Studienmodellen von Kindern und Jugendlichen gezeigt werden, dass sich in den Zeiträumen von 1977 bis 1989 und 1990 bis 1999 die Erosionsprävalenz verdoppelt hat. Eine Aufstellung über den Pro-Kopf-Verbrauch von Erfrischungsgetränken vom Bundesverband der Deutschen Erfrischungsgetränkeindustrie e.V. aus dem Jahre 1999 konnte zeigen, dass in den Jahren von 1970 bis 1991

der Konsum von Limonaden und Fruchtsaftgetränken allgemein um 88% auf 44,6 Liter pro Kopf/Jahr gestiegen ist. Der Konsum von Cola-Getränken hat sich im gesamten Zeitraum sogar mehr als verdoppelt. Der Pro-Kopf-Verbrauch beträgt mehr als 40 Liter pro Jahr. Da dies Durchschnittswerte sind kann angenommen werden, dass der tatsächliche Konsum einiger Personen um ein vielfaches höher liegt. Zusätzlich kamen in den letzten Jahren sogenannte Mode-Getränke wie Eistee oder Sportgetränke, die besonders von Jugendlichen bevorzugt werden, vermehrt auf den Markt. Insgesamt gesehen stieg der Konsum der sauren Erfrischungsgetränke von 1979 bis 1998 um knapp 110% auf 99,6 Liter pro Kopf/Jahr. Im Vergleich mit anderen Getränken stieg beispielsweise der Mineralwasserkonsum im Zeitraum von 1991 bis 1998 nur um 26% und der Milchkonsum blieb über die Jahre hin konstant.

Der erosive Charakter von Limonaden und Fruchtsaftgetränken hängt von verschiedenen Faktoren ab, neben dem pH-Wert und der Art der Säure spielt die Pufferkapazität, der Phosphat-, Kalzium- und Fluoridgehalt eine wichtige Rolle. In einer Studie aus dem Jahr 1999 von Larsen und Nyvad wurden diese Faktoren bei unterschiedlichen Getränken unter anderem auch bei Sprite light untersucht. Der pH-Wert von Sprite light betrug 2,98, die Kalziumkonzentration betrug 0,36 mmol/l, die Phosphatkonzentration 0 mmol/l und die Fluoridkonzentration 0,58 ppm. Der Fluoridgehalt kann in diesem Zusammenhang vernachlässigt werden, da die regionale Trinkwasserfluoridkonzentration kaum überschritten wird. Der saure pH-Wert von Sprite light ist auf den Zusatz von 18,4 g Zitronensäure pro 100 ml zurückzuführen (Attin et al., 1998).

Der von Larsen und Nyvad bestimmte pH-Wert deckt sich nicht mit den eigenen durchgeführten Untersuchungen. Wir ermittelten einen niedrigeren pH-Wert von 2,82. Sprite light ist aufgrund des geringen Kalzium- und Phosphatgehaltes und des sauren pH-Werts als ein Getränk mit einem hohen Erosionspotential einzustufen. Einige Studien konnten belegen, dass Getränke die Kalzium oder Phosphat enthalten das Erosionspotential deutlich herabsetzen (Grobler et al., 1989; Grenby, 1990).

Neben der chemischen Zusammensetzung, die das erosive Potential eines Getränks beeinflussen, spielt die Häufigkeit der Getränkezufuhr und die Dauer der erosiven Angriffe eine wichtige Rolle hinsichtlich der tatsächlichen Auswirkung der Säure auf die Zahnhartsubstanz (Zero, 1996). Bei Schmelzproben, die 5 Tage lang 6 mal täglich 10 Minuten mit 0,05 M Zitronensäure (pH-Wert 2,5) erodiert wurden, fand sich ein

Substanzverlust von $147 \pm 18,7 \mu\text{m}$ (Ganss et al., 2001c). In der vorliegenden Studie wurden die Proben 3 mal täglich erodiert, dies entspricht einem sauren Getränk pro Hauptmahlzeit. Einerseits entspricht es einem erhöhten Erosionsrisiko, andererseits erscheint es realitätsbezogen.

Der häufige Verzehr von erosiven Nahrungsmitteln stellt ein erhöhtes Erosionsrisiko dar. In einer in situ Studie von Järvinen et al. (1991) wurde der Zusammenhang zwischen der Aufnahmefrequenz von erosiven Nahrungsmitteln und dem Erosionsrisiko untersucht. Bei einem Verzehr von Zitrusfrüchten mehr als 2 mal pro Tag wurde ein 37-fach erhöhtes Risiko nachgewiesen und bei täglichem Genuss von sauren Getränken erhöht sich das Risiko um ein 4-faches. Bei Personen, die einer Risikogruppe angehören wie beispielsweise Rohköstler kann die Häufigkeit sogar noch höher sein. Die Auswertung von Ernährungsprotokollen im Rahmen einer allgemeinmedizinischen und zahnmedizinischen Untersuchung von 130 Rohköstlern ergab einen durchschnittlichen Fruchtekonsum von 5 mal täglich und einem Maximum von 16 mal pro Tag. Der Rohkostanteil der Nahrung betrug mehr als 95%. Es wurde ein durchschnittlicher Verzehr von 9,5 kg Früchten pro Woche ermittelt. Bei 97% der Probanden fanden sich Zeichen von Erosionen (Ganss et al., 1999a).

In der vorliegenden Studie betrug der Abstand zwischen den einzelnen Säureattacken während der Versuchsdauer 5 Stunden. Die Frequenz zwischen den einzelnen Säureattacken ist entscheidend, da mit jedem erneuten erosiven Angriff die Zahnhartsubstanz erneut geschädigt wird, bevor eine ausreichende Remineralisation durch den Speichel stattgefunden hat. In diesem Zusammenhang kommt der Remineralisation der angegriffenen Zahnoberfläche eine entscheidende Bedeutung zu. In einigen Studien konnte gezeigt werden, dass unterschiedlich lange Remineralisationszeiten Einfluss auf den Mineralverlust der Zahnhartsubstanz haben können. In einer in vitro Studie wurde untersucht, wie lange zuvor mit Sprite light erodierte Rinderschmelzproben remineralisiert werden müssen, bis der Schmelz wieder gegen Bürstabrasion resistent ist. Es zeigte sich, dass die Abrasionsresistenz des erodierten Schmelzes mit länger werdender Remineralisationsdauer zunahm. Dennoch war nach einer Stunde Remineralisationszeit die Abrasion von den zuvor erodierten Schmelzproben noch erhöht (Attin et al., 2000).

Ein wichtiger Aspekt für das Ausmaß von Erosionen ist die Dauer des erosiven Angriffs. Je länger ein pH-Wert Abfall in der Mundhöhle andauert, desto größer ist die Demineralisation des Zahnhartgewebes. Intraorale Messungen zeigten, dass nach einer einmaligen Spülung mit Grapefruitsaft der pH-Wert in der Mundhöhle noch nach einem Zeitraum von 10 Minuten unterhalb des kritischen pH-Wertes von 4,5, der für die Entstehung von Erosionen ausreicht, liegen kann (Imfeld, 1983).

Bei Personen, die eine niedrige Speichelfließrate aufweisen, kann der pH-Wert über einen längeren Zeitraum erniedrigt bleiben (Tenovuo und Rekola, 1977). Es wurde beobachtet, dass es im Bereich der verschiedenen Zahnoberflächen zu einem unterschiedlich lang anhaltenden Abfall des pH-Werts kommen kann. Millward et al. (1997) untersuchten den intraoralen pH-Wert Abfall während des Trinkvorganges mit einem 1%-igen zitronensäurehaltigen Getränks. Zu diesem Zweck wurden bei 10 Probanden palatinal an den Zähnen 21(linker oberer Inzisivi) und 16 (rechter oberer Molar) pH-Elektroden angebracht, so dass eine kontinuierliche Messung und Überwachung des pH-Werts möglich war. Die Probanden mussten entweder 100 ml des Getränks mit einem Strohhalm trinken oder aus einer Säuglingsflasche. In allen Fällen sank der pH-Wert an den Inzisivi auf Werte zwischen 2 und 3 ab, wobei der pH-Wert Abfall bei der Benutzung des Strohhalms etwas geringer war. Bei beiden Trinkmaßnahmen dauerte es 2 Minuten, bis der pH-Wert wieder auf 5,5 anstieg. In der Molarenregion dauerte die Rückkehr bis zu einem pH-Wert von 5,5 zwischen 4 und 5 Minuten. Der initiale Abfall des pH-Werts war in der Molarenregion etwas geringer als an den palatinalen Flächen der Schneidezähne. Die Autoren begründeten es damit, dass beim Trinkvorgang die Inzisivi zuerst mit dem Getränk in Kontakt kommen und bei dem Weg bis hin zu den Molaren eine Verdünnung des Getränks mit dem Speichel stattgefunden hat. Auf dem Zungenrücken konnte ebenfalls nach dem Konsum von verschiedenen Getränken gezeigt werden, dass der pH-Wert beispielsweise nach einer einminütigen Spülung mit einem Sportgetränk unter pH 5,5 abfiel, jedoch schon eine Minute nach dem Konsum wieder auf 5,5 anstieg. Bei den meisten Getränken wurde nach zwei bis drei Minuten der Ausgangswert wieder erreicht (Meurman et al., 1987). Da der relevante pH-Wert Bereich für Erosionen um 4 liegt, ist der Zeitraum, bis dieser Bereich wieder verlassen wird, wesentlich kürzer.

Voruntersuchungen zeigten, dass beim Trinken von 200 ml Sprite light mit 10 gleichmäßig großen Schlucken innerhalb von 2 Minuten die Kontaktzeit des Getränks mit den Proben am Gaumen ungefähr 30 Sekunden beträgt. Die Menge entspricht einem normalen Wasserglas. Wir verwendeten in dieser Studie Kölschgläser, weil sie einen Eichstrich besitzen, der genau 200 ml markiert. Auf die Gläser wurde eine Skalierung mit 10 Teilstrichen aufgebracht. Dies stellte sich als sehr praktikabel für die Probanden heraus. So hatten sie eine direkte Kontrolle, ob die Schlucke gleichmäßig groß waren. Die Probanden erhielten genaueste Instruktionen. Das Getränk sollte innerhalb von 2 Minuten in etwa 10 gleich großen Schlucken getrunken werden, wobei die Flüssigkeit direkt hinunter geschluckt und nicht gespült werden sollte. Durch diesen standardisierten Trinkvorgang und den mit den Probanden zuvor durchgeführten Trinkübungen konnte sichergestellt werden, dass die Kontaktzeit des Getränks mit den Proben am Gaumen bei jedem Trinkvorgang annähernd gleich war. Diese Zeitangaben decken sich in etwa mit den Ergebnissen aus einer Studie von Edwards et al. (1998). Mit Hilfe der Videofluoroskopie wurde die Kontaktzeit an den Zähnen während des Trinkvorganges ermittelt. Beim Trinken aus einer Tasse wurde eine Kontaktzeit des Getränks mit den Inzisivi von 1,39 Sekunden ermittelt. Die Kontaktzeit im Bereich der Molaren betrug 0,61 Sekunden. Bei atypischen Trinkgewohnheiten, wie beispielsweise das Spülen oder unnötig lange im Mund behalten eines sauren Getränks, wirkt sich eine verlängerte Expositionszeit negativ auf die Zahnhartsubstanz aus (Harrison und Roder, 1991).

Die Lokalisation der Proben war von wichtiger Bedeutung für den Versuchsablauf. Die Probanden erhielten eine individuell hergestellte Gaumenplatte, in der die Proben eingearbeitet waren. Auf diese Art konnte gewährleistet werden, dass die Proben für die erosiven Angriffe gut zugänglich waren und bei jedem Trinkvorgang annähernd gleichmäßig umspült wurden. Außerdem bestand so ein klinischer Bezug zu erosiven Auswirkungen an natürlichen Zähnen. Bedenken gegenüber mechanischen Einflüssen durch die Zunge spielten eine untergeordnete Rolle. In einer in vivo Studie von Attin et al. (2001) konnte gezeigt werden, dass ein mechanisch bedingter Fluoridverlust gering ist. Nach der Applikation verschiedener Fluoridierungspräparate auf Rinderschmelzproben und anschließender Bürstabrasion wurde die Stabilität einer KOH-löslichen Fluoridschicht untersucht. Es zeigte sich, dass die KOH-lösliche Fluoridschicht nach einem initialen Fluoridverlust im weiteren Verlauf der Bürstabrasion relativ stabil blieb.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

Nach der Behandlung der Schmelzproben mit Elmex fluid konnte auf den Schmelzoberflächen eine signifikante Anreicherung von KOH-löslichem Fluorid erreicht werden. In der ersten Versuchsreihe betrug der Fluoridgehalt direkt nach der Fluoridierung $66,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und in der zweiten Versuchsreihe $98,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$.

Die Proben beider in situ Versuchsdurchgänge wurden einem identischen Versuchsablauf unterzogen, wie erwartet liegen die Werte in der gleichen Größenordnung. Diese Werte entsprechen einer in situ Studie von Rudolph (2001), die unter den gleichen Bedingungen durchgeführt wurde. Der Fluoridgehalt der Schmelzproben betrug unmittelbar nach der Fluoridierung $78 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Bei einem Vergleich der beiden Studien liegt der relativ geringe Unterschied der Fluoridaufnahme wahrscheinlich innerhalb der normalen Schwankung des Aufnahmepotentials verschiedener Zähne.

Der pH-Wert eines Fluoridpräparates ist von besonderer Wichtigkeit. Zahlreiche Studien konnten dies belegen (Saxegaard und Rølla, 1988; Cruz et al., 1992; Cruz et al., 1993). So untersuchten Larsen et al. (1981) in einer in situ Studie die Menge des KOH-löslichen Fluorids von Präparaten mit unterschiedlichen pH-Werten und Konzentrationen. Es zeigte sich, dass bei dem Präparat mit dem niedrigsten pH-Wert nicht nur ein höherer Fluoridgehalt, sondern auch eine längere Fluoridverfügbarkeit im Vergleich zu den anderen Präparaten bestand. Die Autoren kamen zu dem Schluss, je höher die Fluoridkonzentration und je niedriger der pH-Wert, desto mehr Kalziumfluorid wird gebildet. Das von uns verwendete Elmex Fluid besitzt im Vergleich mit anderen Fluoridierungsmitteln einen relativ sauren pH-Wert von 4,5 (Dental Vademecum 1989/ 1990). Der niedrige pH-Wert hat einen positiven Einfluss auf die Interaktion der Kalziumionen mit den applizierten Fluoridionen (Rølla und Saxegaard, 1990). In diesem sauren Milieu liegen die Aminfluoride in dissoziierter Form vor. Der saure pH-Wert hält die Fluoridionen lange in Lösung und stellt genügend Kalziumionen aus der Zahnoberfläche bereit. Außerdem reduziert der niedrige pH-Wert die Menge an verfügbaren Phosphationen, welche den Niederschlag reinen Kalziumfluorids verhindern und damit der Grund für löslichere Reaktionsprodukte sind (Lagerlöf et al., 1988). So kann durch Manipulation des pH-Wertes eines Fluoridierungsmittels die Qualität einer Kalziumfluoridschicht beeinflusst werden.

Das Kalziumfluorid stellt ein pH-abhängiges Fluoridreservoir dar, das Fluorid abgibt, wenn der pH fällt. Unter sauren Bedingungen, wie sie beispielsweise in einer Plaque vorherrschen, können Fluorid- und Kalziumionen abgegeben werden. Das Fluorid kann dann sekundär in die Apatitstruktur als Fluorapatit oder Fluorhydroxylapatit eingebaut werden (Rølla, 1988; Rølla und Saxegaard, 1990; Rølla et al., 1993).

Die Wirksamkeit eines Fluoridierungsmittels ist abhängig von seiner Fähigkeit, auf der Zahnoberfläche ein kalziumfluoridähnliches Präzipitat zu bilden. Diese Fluoridfraktion wird als KOH-lösliches Fluorid bezeichnet, da sie in Basen löslich ist und durch KOH von der Zahnoberfläche entfernt werden kann (Arends und Christoffersen, 1990). Das KOH-lösliche Fluorid setzt sich aus einem kalziumfluoridähnlichen Präzipitat und aus adsorbiertem Fluorid aus oberflächlichen Schmelzkristalliten zusammen (Arends und Christoffersen, 1990; Rølla und Saxegaard, 1990). Nach lokaler Fluoridapplikation bilden sich kalziumfluoridartige Mineralien, die mikroskopisch als aufgelagerte globuläre Strukturen erkennbar sind (Nelson et al., 1983; Takagi et al., 1992). Diese kalziumfluorid-ähnlichen Präzipitate konnten mit Hilfe elektronenmikroskopischer Untersuchungen nachgewiesen werden. Die Größe der globulären Partikel betrug zwischen 3 bis 15 nm und je nach Art des Fluoridierungsmittels präzipitierten sie in einer Schichtdicke zwischen 0,2 und 2 µm (Nelson et al., 1983; 1984). Eine kurzzeitige Fluoridapplikation reicht für eine Präzipitation globulärer Strukturen aus. In einer aktuellen in vitro Studie aus dem Jahr 2001 wurde die Bildung eines Kalziumfluoridpräzipitates und deren Mikrostruktur auf Schmelzoberflächen nach Applikation unterschiedlicher Fluoridpräparate untersucht. Nach der Applikation eines Aminfluorids fanden sich bereits nach 20 Sekunden erste globuläre Partikel in einer Größenordnung von 30-60 nm. Bei einem Natriumfluorid dauerte die Bildung erster Globuli 30 Sekunden. Die Größe der globulären Partikel betrug 30-80 nm (Petzold, 2001).

Das Kalziumfluoridpräzipitat besteht nicht aus reinem Kalziumfluorid, sondern ist in eine Matrix aus kopräzipitierenden Phosphat- und Proteinbestandteilen eingebettet, die nicht nur an der Oberfläche binden, sondern auch im Kristall vorhanden sind. Das kopräzipitierte Phosphat beeinflusst das Löslichkeitsverhalten des Kalziumfluorids im Inneren der Globuli (Christoffersen et al., 1988). Bei einem neutralen pH-Wert bildet sich ein Kalziumfluoridpräzipitat mit einem hohen Phosphatanteil, das leicht löslich ist (Rølla und Saxegaard, 1990). Kalziumfluoridpräzipitate, die sich im niedrigen pH-Bereich

bilden und weniger Phosphationen enthalten, sind weniger löslich und bleiben als Reservoir länger bestehen als solche, die sich unter anderen Voraussetzungen gebildet haben (Christofferson et al., 1988).

In der Literatur finden sich zahlreiche Untersuchungen, die die Menge KOH-löslichen Fluorids auf Schmelzoberflächen unmittelbar nach der Fluoridierung untersucht haben. Die Ergebnisse der Studien sind annähernd in der gleichen Größenordnung wie die Fluoridgehalte der beiden vorliegenden Studien. In einer in vitro Studie wurde ähnlich wie im vorliegenden Versuch Schmelz operativ entfernter dritter Molaren verwendet. Die Schmelzproben wurden fünf Minuten mit einem 2%-igen neutralen Natriumfluorid fluoridiert. Die Fluoridanalyse ergab $13,39 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ KOH-lösliches Fluorid (Cruz et al., 1992).

Die quantitative Bildung von KOH-löslichem Fluorid auf gesundem Schmelz ist von der Fluoridierungsdauer abhängig. Je länger humane Schmelzproben fluoridiert werden, desto größer ist die Fluoridaufnahme. So fanden Dijkman et al. (1982) nach 24 stündiger lokaler Applikation von Duraphat und Fluor Protector $20,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ beziehungsweise $53 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ KOH-lösliches Fluorid auf humanen Schmelzproben. Bei einer 18-stündigen Fluoridierung mit einem neutralen 2%-igen Natriumfluoridpräparat fand sich ein Fluoridgehalt von $45 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ (Bruun und Givskov, 1991). In einer in vitro Studie im Jahr 1994 wurden Schmelzproben für 24 Stunden mit einem neutralen Natriumfluorid (2%) fluoridiert. Eine verlängerte Fluoridierungszeit um sechs Stunden auf 24 Stunden bewirkte eine Zunahme des KOH-löslichen Fluoridgehaltes um das dreifache ($134,42 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) verglichen mit dem Ergebnis von Bruun und Givskov (Cruz et al., 1994).

Im Rahmen einer Studie zur Bürstabrasion wurden sechs verschiedene Fluoridierungsmittel untersucht. Bei einer Probengruppe erfolgte zur Kontrolle unmittelbar nach der Fluoridierung die Bestimmung von KOH-löslichem Fluorid. Die Fluoridlacke Bifluorid 12, Duraphat, Elmex Fluid und Fluodentin wurden für 8 Stunden, die Fluoridgele Elmex Gelee und Fluorid Gel für 4 Minuten auf die Schmelzproben appliziert. Beim Vergleich der Präparate zeigte sich, dass die mit Bifluorid 12 fluoridierten Proben die höchste Fluoridkonzentration von $145,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ aufwiesen. Die Menge an KOH-löslichem Fluorid der mit Elmex Gelee behandelten Schmelzproben lag bei $82 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Bei Elmex Fluid fanden sich $55,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, bei Fluodentin $31,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$, bei Fluorid Gel $30,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und bei Duraphat $29,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ KOH-lösliches Fluorid (Attin et al., 2001). Applikationszeiten von mehreren Stunden erweisen sich jedoch klinisch als unrealistisch.

Ein direkter Vergleich der Studien ist aufgrund der verschiedenen Studiendesigns und der unterschiedlich verwendeten Fluoridpräparate schwierig. Einige Studien benutzten Natriumfluoride und Präparate mit neutralem oder saurem pH-Wert. In der vorliegenden Studie wurde ein Aminfluorid mit einem sauren pH-Wert von 4,5 verwendet.

In welchem Maße die Säureexposition dazu beiträgt, dass sich die Fluoridkonzentration auf der Oberfläche der Schmelzproben mit der Zeit verringert, beschreiben die in situ Ergebnisse der beiden Versuchsdurchgänge der Gruppen B und C. In beiden Versuchsdurchgängen konnte im Verlauf der gesamten Versuchsdauer ein Fluoridverlust beobachtet werden. Nach 2 Tagen Versuchszeit unter erosiven Bedingungen im Mund war der Fluoridgehalt der Probengruppe B im ersten Versuchsdurchgang auf 81,7% (54,1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) und im zweiten Versuchsdurchgang auf 67,5% (66,8 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) des Anfangsfluoridgehalts gesunken. In den darauffolgenden 5 Versuchstagen reduzierte sich die Fluoridmenge der Probengruppe C des ersten Versuchsdurchgangs weiter auf 61% (40,4 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) beziehungsweise im zweiten Versuchsdurchgang auf etwa 49% (48,3 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$) des Anfangsgehaltes. Nach 7 Versuchstagen unter erosiven Bedingungen in der Mundhöhle ist ein signifikanter Fluoridverlust erkennbar. Trotz der Säureangriffe stellt dies jedoch ein respektables Reservoir an Fluoridionen dar, welches die darunter liegende Oberfläche vor einer Demineralisation schützen kann. Die in situ Ergebnisse dieser Studie zeigen einen ähnlichen Verlauf, wie die Fluoridgehalte des in situ Versuchs von Rudolph (2001). Nach 2 Tagen unter erosiven Bedingungen wurden noch 66,9 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ KOH-lösliches Fluorid gemessen, dies entsprach 86% des Anfangsfluoridgehalts. Nach 7 Tagen Erosion betrug der Fluoridgehalt noch 54,1 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$, dies entsprach 69% des Anfangsgehaltes. Ein Verlust von KOH-löslichem Fluorid tritt auch unter neutralen Bedingungen ohne erosive Einflüsse auf. Bei den Proben der Gruppe D, die sieben Tage nicht unter erosiven Bedingungen im Mund getragen worden waren, zeigte sich im ersten Versuchsdurchgang ein Fluoridgehalt von 37,6 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ und im zweiten Versuchsdurchgang von 50,2 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$.

In der Studie von Rudolph (2001) trat ein unerwartetes Ergebnis auf. Die Proben, die 7 Tage unter erosiven Bedingungen getragen worden waren, wiesen einen signifikant höheren Fluoridgehalt auf als die nicht erodierten Proben. Es zeigte sich, dass nach 7 Versuchstagen unter erosiven Bedingungen noch 69% des Anfangsfluoridgehalts auf den Schmelzoberflächen nachweisbar war. Die Proben, die 7

Tage ohne Säureeinwirkung getragen wurden, wiesen nur 54,3% des Anfangsfluoridgehalts auf. Der Fluoridgehalt der Proben, die 7 Tage unter erosiven Bedingungen getragen wurden, lag mit 14,7% über dem Fluoridgehalt der Proben, die 7 Tage ohne erosiven Einfluss getragen wurden. Dieses Ergebnis konnte in der vorliegenden Studie weder im ersten noch im zweiten Versuchsdurchgang bestätigt werden. In beiden Versuchsdurchgängen zeigten die Gruppen C und D nach 7 Tagen mit oder ohne Erosion annähernd gleiche Werte. Im ersten Versuchsdurchgang der Gruppe C unter erosiven Bedingungen betrug der Fluoridgehalt $40,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und in der Gruppe D ohne Erosion $37,6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Im zweiten Versuchsdurchgang lag der Fluoridgehalt der Gruppe C bei $48,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und in der Gruppe D bei $50,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. Der Vergleich der Ergebnisse legt nahe, dass sich Kalziumfluoridverbindungen unter Mundbedingungen recht stabil verhalten.

Ein durch lokale Fluoridapplikation erzeugtes kalziumfluoridähnliches Präzipitat kann durch eine Säureexposition wieder in Lösung gehen. Kalziumfluorid weist in Abhängigkeit des Phosphatgehaltes ein unterschiedliches Löslichkeitsverhalten auf. Kalziumfluoride, die sich bei einem neutralen pH-Wert bilden, besitzen einen hohen Hydrogenphosphatgehalt und sind löslicher als solche, die sich unter sauren Bedingungen bilden (Christofferson et al., 1988). Øgaard (1988) untersuchte das Löslichkeitsverhalten von reinem Kalziumfluorid und kalziumfluoridähnlichem Material, welches nach Applikation eines 2% -igen Natriumfluorids auf einer Schmelzoberfläche präzipitierte. Die Säureexposition der Proben erfolgte mit 1 M Salzsäure. Das kalziumfluoridähnliche Material ging fast vollständig in Lösung. Das reine Kalziumfluorid blieb jedoch stabil. Die Ausbildung eines Kalziumfluoridpräzipitates ist durch die Verfügbarkeit von Kalziumionen begrenzt. Bei einem Abfall des pH-Werts werden Fluoridionen an die Umgebung abgegeben, steigt nun der pH-Wert an, können sie wieder als Kalziumfluorid präzipitieren, oder während vieler De- und Remineralisationsvorgänge als Hydroxyfluorapatit oder Fluorapatit in die Zahnhartsubstanz eingebaut werden (Rølla und Saxegaard, 1990). Kalziumfluoride stellen ein pH-abhängiges Fluoridreservoir dar, das bei sauren pH-Werten in Lösung geht und die darunter liegende Hartsubstanz schützt. Die Anwesenheit von Hydrogenphosphationen an der Zahnoberfläche reduziert die Löslichkeit von Kalziumfluoriden. Sinkt der pH-Wert unter 5, lösen sich zuerst die Phosphationen von der Oberfläche der Schmelzkristallite und erhöhen die Löslichkeit des Kalziumfluorids (Rølla, 1988).

Die Meinungen bezüglich der Stabilität des KOH-löslichen Fluorids gehen weit auseinander. Anfänglich wurde angenommen, dass kalziumfluoridähnliche Präzipitate auf Zahnhartsubstanzen in Speichel sehr leicht löslich sind und schnell verloren gehen. Kalziumfluoride besitzen die Eigenschaft, in Anwesenheit von Flüssigkeiten auch unter neutralen Bedingungen in Lösung zu gehen. In zahlreichen neueren Studien konnte belegt werden, dass Präzipitate in der Mundhöhle weitaus stabiler sind als angenommen. Diese Stabilität wird durch Adsorption von Hydrogenphosphationen auf der Oberfläche des kalziumfluoridähnlichen Präzipitates erreicht, wodurch eine löslichkeitshemmende Schicht entsteht (Lagerlöf et al., 1988; Rølla und Saxegaard, 1990). In Speichel ist Kalziumfluorid weniger löslich als in Wasser. Scheinbar schützen bestimmte Faktoren im Mundhöhlenmilieu eine vorzeitige Auflösung der Kalziumfluoridverbindungen. In einer Studie von Saxegaard et al. (1988) konnte gezeigt werden, dass KOH-lösliches Fluorid unter Mundbedingungen durch den vorhandenen Speichel stabilisiert werden kann. Chemisch reines Kalziumfluorid wurde für einen Zeitraum von drei Wochen in 10 ml Speichel oder in 10 ml destilliertem Wasser gelagert. Das in Wasser gelagerte Kalziumfluorid wies eine hohe Lösungsrate auf, während das in Speichel gelagerte Kalzium recht stabil war. Die Lösungsrate des Kalziumfluorids in Speichel nahm mit der Dauer des Versuchs zunehmend ab. Im Gegensatz zu früheren Aussagen ist die Löslichkeit von Kalziumfluoridpräzipitaten im Speichel sehr gering.

In der Literatur finden sich verschiedene Erklärungsansätze. Einige Studien schreiben dem im Mund gebildeten Pellikel einen protektiven Effekt zu (Meurman und Frank, 1991). Das Pellikel besteht aus Speichelproteinen und anderen Makromolekülen und bildet auf der Zahnoberfläche einen organischen Film, der wie eine semipermeable Membran wirkt. Das Pellikel schützt zum einen den Zahnschmelz vor dem Einfluss von Säuren und zum anderen verringert es den Fluss von Kalzium- und Phosphationen (Hannig, 1998; Slomiany et al., 1986; Zahradnik et al., 1976). Es wird diskutiert, dass Speichelmuzine eine wichtige Rolle beim Schutz der Zahnhartsubstanz gegen Demineralisation spielen. In einer in vitro Studie wurden Schmelzproben in unterschiedlichen Speichelzusammensetzungen für einen Zeitraum von 1 Minute bis zu 6 Tagen gelagert. Die Proben wurden 1 Minute lang mit 1%-iger Zitronensäure erodiert. Ein aus unstimuliertem Gesamtspeichel gebildetes Pellikel, bot einen 45%-igen Schutz gegen Demineralisation. Ein Pellikel aus Parotisspeichel bot nur einen 25%-igen Schutz. Ein Speichelpellikel aus der Glandula submandibularis und der Glandula sublingualis schützte bereits nach 30

Minuten zu etwa 40% vor einer Demineralisation. Eine signifikante Hemmung der Demineralisierung wurde bereits nach neun Minuten beobachtet. Ein Pellikel aus muzinhaltigem Speichel aus den Glandulae submandibularis und sublinguales konnte nach 6-tägiger Inkubation den Schmelz vollständig schützen. Da die Speichelmuzine wahrscheinlich für das protektive Verhalten verantwortlich waren, wurden sie mit Hilfe der Ultrazentrifugation entfernt. Ein aus muzinfreiem Speichel gebildetes Pellikel schützte nur zu 35% vor einer Demineralisation. Die Autoren kamen zu dem Schluss, dass einem muzinhaltigen Pellikel eine protektive Wirkung gegen Demineralisation einer Oberfläche durch Säuren zugeschrieben werden kann (Nieuw Amerongen et al., 1987).

In einer neueren in vitro Studie konnte kein Einfluss des Speichelmuzins auf die De-beziehungsweise Remineralisation erosiv veränderter Schmelzproben beobachtet werden. Die Autoren begründeten dies jedoch mit dem nur kurzzeitig gewählten Kontakt der Schmelzproben mit dem Speichel (Attin et al., 1996).

Die Pellikeldicke kann an verschiedenen Stellen eines Zahnes sowie bei verschiedenen Zähnen stark variieren (Amaechi et al., 1999; Hannig und Balz, 2001). Je höher die Säurekonzentration und je länger ein erosiver Angriff, desto mehr nimmt die Schichtdicke des Pellikels ab. Hannig und Balz (1999) untersuchten die protektive Wirkung eines in vivo für 24 Stunden oder 7 Tagen gebildeten Pellikels gegen Demineralisation. Rinderschmelzproben mit und ohne Pellikel wurden entweder in 0,1 oder 1% Zitronensäure zwischen 30 Sekunden und 5 Minuten inkubiert. Die Schmelzoberflächen, die ein Pellikel aufwiesen, zeigten generell geringere oder keine Anzeichen von Erosionen verglichen mit den Proben ohne Pellikel. Bei der Mikrohärtemessung fanden sich signifikante Unterschiede zwischen den Proben mit und ohne Pellikel, jedoch war kein Unterschied zu beobachten, ob das Pellikel der Proben 24 Stunden oder 7 Tage alt war. Die elektronenmikroskopische Untersuchung der Schmelzoberflächen ergab, dass die Struktur eines 24 Stunden alten Pellikels aus einer dünnen basalen (10 - 20 nm) und einer äußeren dicken heterogenen Struktur mit einer Schichtstärke von 50 - 150 nm besteht. Ein 7 Tage altes Pellikel weist eine basale Schichtstärke von 10 - 50 nm auf und eine äußere Dicke von 50 - 250 nm. Die Vermutung liegt nahe, dass die Schichtstärke eines Pellikels in situ einer Etablierung eines Kalziumfluoridpräzipitates entgegenwirkt, da diese semipermeable Membran möglicherweise den Ionenfluss von Kalzium und Phosphat verringert. Cruz und Rølla (1991) untersuchten, ob das Vorhandensein eines Pellikels auf Schmelzoberflächen die Ausbildung einer Kalziumfluoridschicht nach einmaliger

Applikation einer 2%-igen Natriumfluoridlösung beeinflusst. Die Ergebnisse zeigten keinerlei Beeinflussung des Kalziumfluoridniederschlags bei Vorhandensein eines Pellikels. Die Fluoridionen konnten ungehindert penetrieren.

In einer in situ Studie von Ganss et al. (2001b) wurden Schmelzproben in Gaumenplatten eingebracht und 24 Stunden am Tag mit Ausnahme der Mahlzeiten über einen Zeitraum von 5 Tagen getragen. Die Proben wurden sechsmal pro Tag für fünf Minuten mit 0,05 m Zitronensäure (pH 2,3) außerhalb der Mundhöhle erodiert. Die Fluoridapplikation wurde dreimal täglich für fünf Minuten direkt nach der Erosion durchgeführt. In einer Gruppe erfolgte die Fluoridierung mit einer Zahnpasta (F = 0,14%). Die beiden anderen Gruppen sollten abwechselnd die Fluoridzahnpasta und die fluoridhaltige Mundspüllösung (F = 0,025%) anwenden, beziehungsweise wurde in einer Gruppe zusätzlich eine Intensivfluoridierung mit einem Fluoridgel (F = 1,25 %) durchgeführt. Mit Hilfe der Mikroradiographie wurde der Mineralgehalt als Differenz zum Ausgangswert bestimmt. Die Ergebnisse zeigten bereits nach der Zahnpastenfluoridierung eine signifikante Reduktion des Mineralverlustes. Die Intensivfluoridierung konnte die erosive Demineralisation nahezu verhindern.

Diese Ergebnisse konnten in einer in vitro Studie mit einem ähnlichen Studiendesign nur bedingt bestätigt werden. Unter Laborbedingungen konnte ebenfalls eine signifikante Verringerung des Substanzverlustes beobachtet werden, jedoch betrug die Reduktion des Mineralverlustes nur 20% (Ganss et al., 2001c).

Die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der in vitro und in situ Studien sind wahrscheinlich auf die Ausbildung eines Pellikels zurückzuführen. Die Ergebnisse unterstreichen nochmals die protektive Wirkung eines in vivo geformten Pellikels gegen Demineralisation von Zahnoberflächen durch Säuren.

Bei der Bestimmung der löslichen Fluoridmengen zeigte sich erwartungsgemäß eine Abnahme der Konzentrationen mit längerer Tragedauer unter erosiven Bedingungen in situ. Das leichter lösliche Kalziumfluorid wirkt als Reservoir, das Fluoridionen zur Bildung fluoridreicher Apatitstrukturen, das heißt strukturell gebundenen Fluorids, zur Verfügung stellt. Der Theorie entsprechend muss es mit der Zeit zur Abnahme der löslichen Fluoridmenge bei gleichzeitiger Steigerung strukturell gebundenen Fluorids kommen.

In beiden Versuchsdurchgängen konnte eine signifikante Anreicherung von strukturell gebundenem Fluorid in der Probengruppe A erreicht werden. Im ersten in situ Versuch fanden sich 503,5 ppm und im zweiten in situ Versuch 508,2 ppm. Der deutliche Fluoridzugewinn zeigt sich im Vergleich zur Kontrollgruppe (~ 64 ppm).

Beim Umbau von karbonatreichem Apatit in einen fluoridhaltigen Apatit wird während der Remineralisation bevorzugt Fluorid in die Oberfläche der Kristallite eingebaut, das sogenannte strukturell gebundene Fluorid (Koulourides, 1990). Der Grund für diesen Umbau besteht in der hohen Löslichkeit des karbonatreichen Apatitkristalliten. In welcher Form Fluorid bei diesem Prozess ein- beziehungsweise abgelagert wird, ist in vitro konzentrations- und pH-Wert abhängig. In einigen Studien wurde beobachtet, dass Fluorid Einfluss auf den Präzipitationsmechanismus von Kalziumphosphat hat (Lammers et al., 1991, 1992). Aufgrund der pH-Wert Abhängigkeit wird bei niedrigen Fluoridkonzentrationen entweder unter sauren Bedingungen Dikalziumphosphatdihydrat oder im neutralen Bereich Octakalziumphosphat gebildet. Sie sind beide Vorstufen des Hydroxylapatits. Bei hohen Fluoridkonzentrationen bildet sich direkt Fluorhydroxylapatit (Driessens et al., 1987; Eanes, 1980). Die Bildung von Fluorhydroxylapatit hat Einfluss auf das Löslichkeitsprodukt, die Kristallisation und damit auf die Säurewiderstandsfähigkeit der Apatitkristallite. Der Haupteffekt des strukturell gebundenen Fluorids soll in einer erhöhten Widerstandsfähigkeit der festen Phase gegenüber einer Auflösung durch Säuren liegen.

Direkte Vergleichsstudien über den Gehalt von strukturell gebundenem Fluorid in Zahnschmelz nach wiederholten erosiven Attacken sind in der Literatur nicht zu finden. Zahlreiche Studien untersuchten den strukturell gebundenen Fluoridgehalt im Rahmen der Kariesprophylaxe. In den meisten Studien wurden die Zahnproben demineralisiert um eine künstliche kariöse Initialläsion zu erzeugen. Anschließend wurden lokale Fluoridierungs-

mittel appliziert und der Gehalt an strukturell gebundenem Fluorid analysiert. Eine Studie von Reintsema et al. (1986) lässt einen indirekten Vergleich mit der vorliegenden Studie zu. In einer in vivo Untersuchung wurde mit dem Mikrodrill Verfahren das strukturell gebundene Fluorid in demineralisierten Schmelzproben gesammelt und analysiert. Die Fluoridapplikation erfolgte in Form einer Zahnpasten-fluoridierung zweimal täglich für drei Wochen. In der ersten Woche benutzten alle Teilnehmer eine fluoridfreie Zahnpasta für ein sogenanntes „wash-out“, um endogene und exogene Fluoridquellen auszuschließen. Die Proben wurden mit Hilfe einer Teilprothese im Mund der Probanden positioniert. Die Bohrung erfolgte bis zu einer Tiefe von 120 µm. Der Bohrstaub wurde in einem Kunststoffbehälter gesammelt und gewogen. Die Messwerte der Studie wiesen eine breite Streuung für den Gehalt des strukturell gebundenen Fluorids auf. Es fanden sich Werte zwischen 290 ppm und 597 ppm. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen ebenfalls eine breite Streuung auf, liegen jedoch annähernd in der gleichen Größenordnung.

Im zweiten Versuchsdurchgang der in situ Studie fand sich ein unerwartetes Ergebnis. Die erodierten Proben der Gruppe B und C sowie die nicht erodierten Proben der Gruppe D wiesen nach 2 beziehungsweise 7 Versuchstagen einen signifikant höheren Gehalt an strukturell gebundenem Fluorid auf als die Proben der Gruppe A direkt nach der Fluoridierung. Für die Inhomogenität der stark streuenden Messwerte ist neben anderen Einflussfaktoren sicherlich auch die Methodik verantwortlich. Zahlreiche Studien, die strukturell gebundenes Fluorid in Schmelz oder in Dentin bestimmten, wiesen in ihren Messwerten große Streuungen auf (Dijkman et al., 1983; Reintsema et al., 1986; Meitje, 2000). In der Mikrodrill-Technik wird eine kleine Menge Schmelz von den Proben entfernt, gewogen und anschließend mit einer ionenselektiven Fluoridelektrode analysiert. Die Reproduzierbarkeit der Mikrodrill-Technik bei Schmelzproben mit künstlichen kariösen Läsionen wurde von Sakkab et al. (1984) mit nur etwa 12% angegeben. Das Mikrodrill-Verfahren findet nicht in einem geschlossenen Arbeitsbereich statt. Bei den Bohrungen geht eine unbekannte Menge des heruntergebohrten Schmelzstaubs verloren. Ein Teil des Bohrstaubs geht an die Umgebung verloren oder verbleibt auf der Probenoberseite und lässt sich auch durch Klopfen auf den Objektträger, auf dem die Probe befestigt ist, nicht entfernen. Beim Auffangen der Staubreste vom Bohrer geht ebenfalls noch mal ein Teil verloren (siehe Material und Methode 3.5).

Möglich sind auch geringe Messfehler aufgrund eines unterschiedlichen Feuchtigkeitsgehaltes des abgebohrten und später analysierten Schmelzstaubs, der Abweichungen im Gewicht bedingen würde. Um dem vorzubeugen, wurden die Proben nach dem Herunterlösen des KOH-löslichen Fluorids trocken in verschließbaren Kunststoffreagenzgläsern aufbewahrt. Der biologische Faktor spielt wahrscheinlich auch eine Rolle, da nicht alle Schmelzproben die gleiche Härte und Oberflächenbeschaffenheit aufweisen. Die einzelnen Ergebnisse für strukturell gebundenes Fluorid waren im zweiten Versuchsdurchgang in den Gruppen B, C und D signifikant höher als im ersten Versuchsdurchgang. Es sollte berücksichtigt werden, dass nicht von jedem einzelnen Probenzahn eine Negativkontrolle durchgeführt wurde, sondern von 10 willkürlich ausgewählten Zähnen. Möglich ist, dass einige Proben vor der Fluoridierung mit Elmex fluid einen überdurchschnittlich hohen strukturell gebundenen Fluoridgehalt aufwiesen.

Einige wenige Studien unterscheiden zwischen KOH-löslichem und strukturell gebundenem Fluorid (Dijkman et al., 1982, 1983; Hellwig et al. 1989). Der häufigste Unterschied der Studien liegt in der Methodik zur Gewinnung des strukturell gebundenen Fluorids, was einen Vergleich der Studien erschwert.

Das strukturell gebundene Fluorid lässt sich mit verschiedenen Methoden gewinnen. In einer in vivo Studie von Hellwig et al. (1989) wurde die Retention angelagerten und strukturell gebundenen Fluorids in demineralisiertem Zahnschmelz nach einer einstündigen Applikation zweier gebräuchlicher Fluoridlacke (Duraphat und Fluor-Protector) untersucht. Ein Teil der Schmelzproben wurde unmittelbar nach der Fluoridapplikation auf ihren KOH-löslichen und strukturell gebundenen Fluoridgehalt untersucht. Die Menge des KOH-löslichen Fluorids wurde nach der Methode von Caslavská et al. (1975) bestimmt. Der Fluoridgehalt der demineralisierten Schmelzproben betrug direkt nach der Fluoridapplikation durchschnittlich 35 µg/cm² KOH-lösliches Fluorid. Für die Probenentnahme des strukturell gebundenen Fluorids wurde eine spezielle Schleifapparatur verwendet. Mit einem Silikon-Karbid-Streifen wurden einzelne Schmelzschichten abgetragen. Insgesamt erfolgte ein Abtrag von drei aufeinanderfolgenden Schmelzschichten (20 µm; 30 µm; 30 µm = insgesamt 80 µm).

Direkt nach der Fluoridierung mit Duraphat und Fluor-Protector ergab sich für strukturell gebundenes Fluorid in allen drei Schichten eine signifikant erhöhte Fluoridkonzentration gegenüber der unfluoridierten Kontrolle. Nach der Applikation von Duraphat fand sich in der ersten Schicht ein mittlerer Fluoridgehalt von 899 ppm, in der zweiten Schicht von 646 ppm und in der dritten Schicht von 380 ppm. Nach Applikation von Fluor-Protector lagen die entsprechenden Werte bei 1600 ppm, 1098 ppm und 965 ppm. Die Fluoridreaktion mit demineralisiertem Schmelz unterliegt jedoch anderen Gesetzmäßigkeiten als bei gesundem Schmelz. Eine erhöhte Oberflächenporosität sowie eine vermehrte Anzahl spezifischer und unspezifischer Bindungsstellen für Fluoridionen im demineralisierten Schmelz führen vermutlich primär bei der Fluoridapplikation und sekundär bei der Auflösung der Kalziumfluoridschicht auf der Schmelzoberfläche zu einer verstärkten Tiefenpenetration und einer vermehrten Bindung von Fluoridionen (Arends et al., 1984). Eine Erhöhung des Schmelzfluoridgehaltes direkt nach lokaler Fluoridierung konnte auch von anderen Autoren nachgewiesen werden. Die absolute Höhe des Fluoridgehalts hängt jedoch von verschiedenen Faktoren ab, beispielsweise von der Analysenmethode, der Fluoridverbindung und der Häufigkeit der Applikationen (Bruun et al., 1980; Heifetz et al., 1970). Im Rahmen einiger Langzeitstudien wurde die quantitative Fluoridaufnahme in und auf humanen Schmelzproben untersucht. Diese Studien wendeten zur Gewinnung von strukturell gebundenem Fluorid eine Ätztechnik mit Perchlorsäure an, bei der nasschemisch durch Ätzen aufeinanderfolgende Schmelzschichten abgelöst werden. Bedingt durch das Analyseverfahren wurden wesentlich kleinere Schichten untersucht. Die Ätztiefe kann bei diesem Verfahren nicht genau bestimmt werden, sondern nur eine Durchschnittstiefe. Dijkman et al. (1983) untersuchten den Fluoridgehalt in und auf humanen Schmelzproben nach lokaler Fluoridapplikation in vivo und in vitro über einen Zeitraum von drei Monaten. Die Fluoridierung der Proben erfolgte mit dem Fluoridgel Medinos Gel für fünf Minuten und mit den Fluoridlacken Duraphat und Fluor Protector für 24 Stunden. Ein Teil der Proben wurde direkt nach der Fluoridierung analysiert. Die restlichen Schmelzproben wurden für den in vivo Versuch in eine Teilprothese eingearbeitet und für den in vitro Versuch in 100%-iger Feuchtigkeit (21°C) gelagert. Nach einer Tragezeit von 1 Woche, 4 Wochen und 12 Wochen wurden die Proben zuerst auf ihren KOH-löslichen Fluoridgehalt untersucht und anschließend erfolgte eine Bestimmung des strukturell gebundenen Fluorids. Fünf aufeinanderfolgende Schichten wurden mit Perchlorsäure herunter gelöst. Die durchschnittliche Ätztiefe betrug ~ 30 µm. Direkt nach der Fluoridierung mit Medinos Gel fanden sich ein mittlerer Fluoridwert von

24,7 µg/cm² KOH-lösliches Fluorid und 260 ppm strukturell gebundenes Fluorid, nach der Applikation von Duraphat fanden sich 20,4 µg/cm² KOH-lösliches Fluorid und 806 ppm strukturell gebundenes Fluorid und nach Applikation von Fluor Protector fanden sich 53,0 µg/cm² KOH-lösliches Fluorid und 925 ppm strukturell gebundenes Fluorid. Im Laufe der Versuchszeit konnte in vivo und in vitro eine kontinuierliche Abnahme des KOH-löslichen Fluorids und eine Zunahme des strukturell gebundenen Fluorids beobachtet werden. Die mit Duraphat behandelten Proben wiesen nach einer Woche in vivo einen Gehalt von 138 ppm strukturell gebundenes Fluorid (1,5 µg/cm² KOH-lösliches F) auf und nach 4 Wochen 151 ppm (1,0 µg/cm²), danach erfolgte wieder eine Fluoridabnahme. Nach 12 Wochen fanden sich 141 ppm strukturell gebundenes Fluorid in ~ 30 µm Tiefe und 1,2 µg/cm² KOH-lösliches Fluorid. In vitro fanden sich nach einer Woche 457 ppm und 11,5 µg/cm² Fluorid, nach 4 Wochen betrug das strukturell gebundene Fluorid 571 ppm und das KOH-lösliche Fluorid 10,5 µg/cm². Nach 12 Wochen lag der Gehalt des strukturell gebundenen Fluorids bei 696 ppm und der KOH-lösliche Fluoridgehalt betrug nur noch 8,1 µg/cm² gegenüber dem Anfangsfluoridgehalt von 20,4 µg/cm².

Brudevold (1959) und andere Autoren vermuteten, dass das an der Schmelzoberfläche gebildete Kalziumfluorid schneller in Lösung geht und Fluoridionen zur Bildung von fluoridreichen Apatitstrukturen zur Verfügung stellt (Gron und Caslavsaka, 1979; Chow et al., 1980). In der Studie von Dijkman et al. (1983) konnte wie in der vorliegenden Studie eine Zunahme des strukturell gebundenen Fluorids beobachtet werden. Der Unterschied liegt jedoch unter anderem in der Auswahl des Probenmaterials. So verwendeten Dijkman et al. (1983) menschliche Schneidezähne, die sich bereits in der Mundhöhle befanden und unterschiedliche Basisfluoridgehalte aufwiesen. Wir verwendeten ausschließlich operativ entfernte dritte Molaren um eine exogene Fluoridanreicherung in der Mundhöhle zu vermeiden.

In einer in vitro Studie im Jahr 1989 wurde ausschließlich die Aufnahme von strukturell gebundenem Fluorid in humanen Schmelzproben operativ entfernter dritter Molaren nach Fluoridierung und anschließender Berieselung mit künstlichem Speichel nach einer und nach vier Wochen untersucht. Die Autoren unterschieden nicht zwischen KOH-löslichem und strukturell gebundenem Fluorid. Die Schmelzoberfläche wurde mit Perchlorsäure abgelöst. Die durchschnittliche Ätztiefe betrug 21,5 µm. Nach der Fluoridierung mit Natriummonofluorophosphat fanden sich nach einer Woche Lagerung in künstlichem

Speichel noch 468,6 ppm und nach vierwöchiger Lagerung noch 332,2 ppm.

Die mit Natriumfluorid fluoridierten Proben wiesen nach einer Woche noch 750 ppm und nach vier Wochen noch 317,4 ppm auf (Schiffner und Meyberg 1989). Auch wenn ein Vergleich der Studien nur indirekt möglich ist, lagen die Ergebnisse von Schiffner und Meyberg (1989) und Dijkman et al. (1983) zumindest in der gleichen Größenordnung wie die Messwerte des ersten Versuchsdurchgangs der Gruppe D (425,5 ppm).

Der Gehalt des strukturell gebundenen Fluorids erwies sich wie das KOH-lösliche Fluorid unter Mundbedingungen als recht stabil. Nach zwei Tagen als auch nach sieben Tagen unter erosiven Bedingungen zeigte sich in beiden Versuchsdurchgängen ein signifikant höherer Fluoridgehalt im Vergleich zur Kontrolle (~ 64 ppm). Im Verlauf der gesamten Versuchsdauer konnte im ersten Versuchsdurchgang ein stetiger Fluoridverlust beobachtet werden. Nach zwei Tagen unter sauren Bedingungen fanden sich im ersten Versuchsdurchgang (Probengruppe B) noch 67,5% (339,8 ppm) und nach sieben Tagen (Probengruppe C) noch 37,7% (190,7 ppm) des Anfangsfluoridgehalts. Im zweiten Versuchsdurchgang trat ein überraschendes Ergebnis auf. Bei den Messwerten fand sich eine unerwartete Diskrepanz innerhalb der einzelnen Versuchsgruppen. Der Fluoridgehalt der Probengruppe B betrug nach zwei Versuchstagen 629,2 ppm und der Gehalt der Probengruppe C nach sieben Versuchstagen 556,3 ppm. Im Laufe der Versuchsdauer kam es zu einer Zunahme des strukturell gebundenen Fluorids von 23% beziehungsweise 9,5% gegenüber dem Ausgangswert (508,2 ppm).

Unter neutralen Bedingungen ohne erosive Einflüsse konnte ebenfalls ein Verlust von strukturell gebundenem Fluorid beobachtet werden. In der Probengruppe D fanden sich im ersten Versuchsdurchgang nach sieben Versuchstagen ohne erosive Einflüsse noch 84,5% (425,5 ppm) des Anfangsfluoridgehalts (503,5 ppm). Dies konnte im zweiten Versuchsdurchgang nicht bestätigt werden. Der Fluoridgehalt für das strukturell gebundene Fluorid lag in der Probengruppe D nach sieben Tagen ohne Erosion mit + 57,4% (799,9 ppm) über dem Anfangsfluoridgehalt (508,2 ppm).

Die Ergebnisse für das strukturell gebundene Fluorid der beiden in situ Versuche stimmen nicht überein. Die Messwerte der Gruppe A liegen mit 503,5 ppm im ersten Versuchsdurchgang und mit 508,2 ppm im zweiten Versuchsdurchgang noch in der gleichen Größenordnung. Im weiteren Verlauf der Studie zeigte sich jedoch eine große Diskrepanz bei den Ergebnissen zwischen dem ersten und zweiten Versuchsdurchgang in situ und

innerhalb der einzelnen Versuchsgruppen des zweiten Versuchsdurchgangs (siehe Ergebnisse 4). Die Messwerte der beiden Versuchsdurchgänge ließen sich für das strukturell gebundene Fluorid nicht reproduzieren.

In Anbetracht der unklaren Ergebnisse für das strukturell gebundene Fluorid sollte in Zukunft auf eine Untersuchung des Fluoridgehalts mit dem Mikrodrill-Verfahren verzichtet werden, da die Methodik nicht ausreichend sensitiv ist.

Zusammenfassend hat die vorliegende in situ Studie zeigen können, dass mit Applikation eines sauren Fluoridpräparates auf Schmelzproben auch unter erosiven Bedingungen ein ausreichendes Reservoir an Fluoriden etabliert werden konnte. Nach einer Woche unter erosiven Bedingungen konnte auf als auch in den Schmelzproben ein recht hoher Gehalt an KOH-löslichem sowie strukturell gebundenem Fluorid nachgewiesen werden. Da das Ausmaß der Säureattacken individuell sehr unterschiedlich sein kann und über den vorliegenden gewählten Versuchsbedingungen hinausgehen kann, sollte bei Patienten mit Erosionen im Rahmen der symptomatischen Therapie regelmäßig eine hochdosierte lokale Fluoridbehandlung durchgeführt werden. Es ist jedoch nicht bekannt, welche Fluoridmengen ausreichen um einen säurebedingten Zahnhartsubstanzverlust zu verhindern

6 Zusammenfassung

Über die Rolle lokal applizierter Fluoride bei erosiv bedingten Zahnhartsubstanzdefekten ist wenig bekannt. So war es das Ziel der vorliegenden Untersuchung, die Stabilität der kalziumfluoridähnlichen Deckschicht und des strukturell gebundenen Fluorids in situ nach einer einmaligen Fluoridapplikation unter wiederholten erosiven Bedingungen zu untersuchen. Ein weiteres Ziel war zu untersuchen, ob eine Reproduzierbarkeit der Ergebnisse durch Wiederholung der in situ Studie möglich ist. Aus 70 vollständig retinierten und verlagerten menschlichen dritten Molaren ($n = 240$ in situ; $n = 10$ Kontrollproben) wurden je vier planparallele Schmelzproben für zwei Versuchsdurchgänge hergestellt. Die Fluoridierung der Proben erfolgte extraoral für drei Minuten mit Elmex fluid bestehend aus den Aminfluoriden Olaflur (12,126%) und Dectaflur (1,150%). Die Proben wurden in vier Gruppen auf vier Probanden aufgeteilt. Die Schmelzproben wurden in individuell hergestellten Gaumenplatten eingearbeitet, welche bis auf die Mahlzeiten und Mundhygienemaßnahmen ganztags getragen wurden. Die erosive Demineralisation wurde mit Sprite light (1% Zitronensäure, pH-Wert 2,82) durchgeführt. Die Probanden mussten 200 ml mit 10 gleichmäßig großen Schlucken dreimal täglich im Abstand von fünf Stunden trinken. Die Proben der Gruppe A wurden sofort, die der Gruppe B nach zwei Tagen unter erosiven Bedingungen in situ, die Proben der Gruppe C nach sieben Tagen unter erosiven Bedingungen in situ und die der Gruppe D nach sieben Tagen ohne erosive Demineralisation in situ auf ihren Gehalt an KOH-löslichen und strukturell gebundenen Fluorid analysiert. Das KOH-lösliche Fluorid wurde nach dem von Caslavská et al. (1975) beschriebenen Standardverfahren bestimmt. Zur Bestimmung des strukturell gebundenen Fluoridgehalts erfolgte der Abtrag des Schmelzes mit einer speziellen Mikrodrill-Apparatur. Die Ergebnisse zeigten, dass nach einem hohen Anfangsfluoridgehalt (1. Versuchsdurchgang: $66 \mu\text{g}/\text{cm}^2$; 2. Versuchsdurchgang $98,9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) im weiteren Versuchsverlauf eine stetige Abnahme des KOH-löslichen Fluorids zu beobachten war. Nach zwei Tagen unter erosiven Bedingungen in situ fanden sich $54,1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ beziehungsweise $66,8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ KOH-lösliches Fluorid. Nach sieben Tagen erosiver Demineralisation in situ fanden sich $40,4 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und $48,3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ KOH-lösliches Fluorid und nach sieben Tagen ohne erosive Einflüsse in situ fanden sich im ersten Versuchs-

durchgang noch $37,6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ und im zweiten Versuchsdurchgang noch $50,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ KOH-lösliches Fluorid. Die Messwerte der ersten und zweiten Versuchsreihe stimmen insgesamt gut überein. Beim strukturell gebundenen Fluorid fand sich in beiden Versuchsdurchgängen direkt nach der Fluoridapplikation eine signifikant erhöhte Fluoridkonzentration im Vergleich zur Kontrollgruppe (504 ppm und 508 ppm gegenüber 64 ppm). Im ersten Versuchsdurchgang trat eine kontinuierliche Abnahme des strukturell gebundenen Fluoridgehalts während der Versuchsdauer auf. Im zweiten Versuchsdurchgang konnte in allen Versuchsgruppen eine Zunahme des strukturell gebundenen Fluorids beobachtet werden. Eine Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen der ersten und zweiten Versuchsreihe lag nicht vor.

Die Ergebnisse beider Versuchsdurchgänge für KOH-lösliches sowie für strukturell gebundenes Fluorid zeigen, dass Schmelz durch eine einmalige Applikation von Elmex fluid gut mit Fluorid angereichert wurde, welches unter erosiven Bedingungen nur langsam in Lösung geht. Der Fluoridverlust war um so größer, je länger die Proben den erosiven Attacken ausgesetzt waren.

Abstract

Concerning the role of local application of fluoride in case of erosive demineralisation of dental hard tissue little is known. The aim of the present in situ investigation was to examine the stability of calcium fluoride-like layers and structurally-bound fluoride in situ after a single local application of fluoride under recurrent erosive conditions. The second aim was to test the possibility of reproducing the results.

For this investigation 70 previously completely impacted human third molars were used ($n = 240$ in situ; $n = 10$ control samples). From each tooth four enamel specimens were prepared for two experimental studies. The specimens were extra orally fluoridated with Elmex fluid (continuing the aminfluorides Olaflur 12.126% and Dectaflur 1.150%) for three minutes. The samples were distributed to four test persons in four groups. The enamel samples were made to fit the palatal plates of each test person and had to be worn all day, meals and oral hygiene measures excepted.

Erosive demineralisation was performed by drinking Sprite light (1% citric acid, pH 2.82). The test persons had to drink 200 ml in 10 sips three times a day, at intervals of five hours. The amounts of KOH-soluble and structurally-bound fluoride of the enamel specimens of group A were measured directly after fluoridation, the specimens of group B were analysed after two days and the specimens of group C after seven days under erosive conditions, and the specimens of group D after seven days without erosive demineralisation. The KOH-soluble fluoride was analysed according to the standard procedure described by Caslavská et al. (1975). The structurally-bound fluoride was analysed by removing a small volume of enamel from the enamel samples with a special micro drill apparatus. After a high initial fluoride content (1st experiment: $66 \mu\text{g}/\text{cm}^2$; 2nd experiment: $98.9 \mu\text{g}/\text{cm}^2$) a continuous decrease of KOH-soluble fluoride was observed during the experimental period. After two days under erosive conditions the samples had a KOH-soluble fluoride content of $54.1 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ and $66.8 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ respectively. After seven days under recurrent erosive demineralisation the values for KOH-soluble fluoride were $40.6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ and $48.3 \mu\text{g}/\text{cm}^2$. The respective values for KOH-soluble fluoride after seven days without erosive demineralisation amounted to $37.6 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ in the first experiment and still $50.2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ in the second experiment.

The results of the first and the second investigations in situ corresponded to each other. Compared to the control group (504 ppm and 508 ppm compared with 64 ppm) the two experiments showed a significantly increased fluoride concentration directly after fluoride application. During the first investigation a continuous decrease of structurally-bound fluoride occurred. During the second experimental period an increase of structurally-bound fluoride was observed in all groups. There was no correspondence between the results of the first and second investigation.

The results of both experimental periods for KOH-soluble and structurally-bound fluoride show that enamel was very well enriched with fluoride after a single application of Elmex fluid which dissolves only slowly under erosive conditions. The longer the enamel samples were exposed to an erosive attack, the greater the loss of fluoride was.

7 Literaturverzeichnis

1. Aasenden, R.; Allukian, F.; Brudevold, F.; Wellock, W.D.:

An in vitro study on enamel fluoride in children living in a fluoridated and in a non-fluoridated area.

Arch oral Biol 1971; 16: 1399-1411.

2. Al-Dlaigan, Y.H.; Shaw, L.; Smith, A.:

Dental erosion in a group of British 14-year-old, school children.

Part I: Prevalence and influence of differing socio-economic backgrounds.

Br Dent J 2001; 190: 145-149.

3. Amaechi, B.T.; Higham, S.M.; Edgar, W.M.:

The influence of xylitol and fluoride on dental erosion in vitro.

Arch oral Biol 1998; 43: 157-161.

4. Amaechi, B.T.; Higham, S.M.; Edgar, W.M.; Milosevic, A.:

Thickness of acquired salivary pellicle as a determinant of the sites of dental erosion.

J Dent Res 1999; 78: 1821-1828.

5. Arends, J.; Nelson, D.G.A.; Dijkman, A.G.; Jongebloed, W.L.:

Effect of various fluorides on enamel structure and chemistry.

In Cariology Today. Int. Congr. Zürich 1983 Karger, Basel 1984; 245-258.

6. Arends, J.; Christoffersen, J.; Schuthof, J.; Smites, M.T.:

Influence of xylitol on demineralization of enamel.

Caries Res 1984; 18: 296-301.

7. Arends, J.; Christoffersen, J.:

Nature and role of loosely bound fluoride in dental caries.

J Dent Res 1990; 69: 634-636.

8. Asher, C.; Read, M.J.F.:

Early enamel erosion in children associated with the excessive consumption of citric acid.
Br Dent J 1987; 162: 384-387.

9. Attin, T.; Hilgers, R.D.; Hellwig, E.:

Einfluss von Mucin im Speichel auf die Entstehung von Schmelzerosionen.
Dtsch Zahnärztl Z 1996; 51: 506-510.

10. Attin, T.; Koidl, U.; Buchalla, W.; Schaller, H.G.; Kielbassa, A.M.; Hellwig, E.:

Correlation of micro hardness and wear in differently eroded bovine dental enamel.
Arch Oral Biol 1997; 42: 243-250.

11. Attin, T.; Zirkel, C.; Hellwig, E.:

Brushing abrasion of eroded dentin after application of sodium fluoride solutions.
Caries Res 1998; 32: 344-350.

12. Attin, T.; Deifuss, H.; Hellwig, E.:

Influence of acidified fluoride gel on abrasion resistance of eroded enamel.
Caries Res 1999; 33: 135-139.

13. Attin, T.; Buchalla, W.; Gollner, M.; Hellwig, E.:

Use of variable remineralization periods to improve the abrasion resistance of previously eroded enamel.
Caries Res 2000; 34: 48-52.

14. Attin, T.; Schneider, K.; Buchalla, W.:

Abrasionsstabilität des KOH – löslichen Fluorids auf Schmelz nach Applikation verschiedener Fluoridierungsmittel.
Dtsch Zahnärztl Z 2001; 56: 706-711.

15. Azzopardi, A.; Bartlett, D.W.; Watson, T.F.; Sheriff, M.:

The measurement and prevention of erosion and abrasion.
J Dent 2001; 29: 395-400.

16. Bartlett, D.W.; Coward, P.Y.; Nikkah, C.; Wilson, R.F.:

The prevalence of tooth wear in a cluster sample of adolescent schoolchildren and its relationship with potential explanatory factors.

Br Dent J 1998; 184: 125-129.

17. Brickley, M. ; Shepherd, J.P.:

Alcohol intoxication and dependence in adult dental out-patients.

J Dent Res 1989; 68: 591 (Abstr.).

18. Brudevold, F.:

Action of topically applied fluorides.

J Dent Child 1959; 26: 186-190.

19. Bruun, C.; Givskov, H.; Stoltze, K.:

In vivo uptake and retention of fluoride in human surface enamel after application of a fluoride-containing lacquer (Fluor Protector).

Caries Res 1980; 14: 103-109.

20. Bruun, C.; Givskov, H.:

Formation of CaF₂ on sound enamel and in caries-like enamel lesions after different forms of fluoride applications in vitro.

Caries Res 1991; 25: 96-100.

21. Bundesverband der deutschen Erfrischungsgetränke-Industrie e.V.:

Entwicklung des Pro-Kopf-Verbrauchs von Erfrischungsgetränken nach Getränkearten

Quelle: Firma Rudolf Wild 1999.

22. Caslavská, V.; Moreno, E.C.; Brudevold, F.:

Determination of the calcium fluoride formed from in vitro exposure of human enamel to fluoride solutions.

Arch Oral Biol 1975; 20: 333-339.

23. Centerwall, B.S.; Armstrong, C.W.; Funkhouser, G.S.; Elzay, R.P.:

Erosion of dental enamel among competitive swimmers at a gas-chlorinated swimming pool.

Am J Epidemiol 1986; 123: 641-647.

- 24. Chaudhry, S.I.; Harris, J.L.; Challacombe, S.J.:**
Dental erosion in a wine merchant: an occupational hazard?
Br Dent J 1997; 182: 226-228.
- 25. Chow, L.C.; Guo, M.K.; Hsieh, C.C.; Hong, Y.C.:**
Reactions of powdered human enamel and fluoride solutions with and without
Intermediate brushite formation.
J dent Res 1980; 59: 1447-1452.
- 26. Christoffersen, J.; Christoffersen, M.R.; Kibaczyc, W.; Perdok, W.G.:**
Kinetics of dissolution and growth of calcium fluoride and effects of phosphate.
Acta Odontol Scand 1988; 46: 325-336.
- 27. Collys, K.; Cleymaet, R.; Coomans, D.; Michotte, Y.; Slop, D.:**
Rehardening of surface softened and surface etched enamel in vitro and by intraoral
exposure.
Caries Res 1993; 27: 15-20.
- 28. Cooper, P.J.; Charnock, J.; Taylor, M.J. :**
The prevalence of bulimia nervosa.
Br J Psychiatry 1987; 151: 684-686.
- 29. Cruz, R.; Rølla, G.:**
Deposition of alkali-soluble fluoride on enamel surface with or without pellicle.
Scand J Dent Res 1991; 99: 96-99.
- 30. Cruz, R.; Øgaard, B.; Rølla, G.:**
Uptake of KOH-soluble and KOH-insoluble fluoride in sound human enamel after
topical application of a fluoride varnish (Duraphat) or a neutral 2 % NaF solution in vitro.
Scand J Dent Res 1992; 100: 154-158.
- 31. Cruz, R.; Ng'ang'a, P.M.; Øgaard, B.; Valderhaug, J.:**
Fluoride acquisition on and in fluorotic human enamel after topical application in vitro.
Scand J Dent Res 1993; 101: 5-8.

32. Cruz, R.; Rølla, G.; Øgaard, B.:

Alkali soluble fluoride deposition on human enamel exposed to monofluorophosphate containing toothpastes in vitro.

Acta Odontol Scand 1994; 52: 72-76.

33. Darby, E.T.:

Dental erosion and the gouty diathesis: Are they usually associated?

Dent Cosmos 1892; 34: 629-640.

34. Davis, W.B.; Winter, P.J.:

The effect of abrasion on enamel and dentine after exposure to dietary acid.

Br Dent J 1980; 148: 253-256.

35. Deery, Ch.; Wagner, M.L.; Longbottom, Ch.; Simon, R.; Nugent, Z.J.:

The prevalence of dental erosion in a United States and a United Kingdom sample of adolescents.

Pediatric Dentistry 2000; 22: 505-510.

36. Dijkman, A.G.; Tak, J.; Arends, J.:

Fluoride deposited by topical applications in enamel.

Caries Res 1982; 16: 147-155.

37. Dijkman, A.G.; de Boer, P.; Arends, J.:

In vivo investigation on the fluoride content in and on human enamel after topical applications.

Caries Res 1983; 17: 392-402.

38. Driessens, F.C.M.; Borggreven, J.M.P.M.; Verbeek, R.M.H.:

The dynamics of biomineral systems.

Bull. Soc. Chim. Belg. 1987; 96: 173-179.

39. Duschner, H.; Uchtmann, H.; Duschner, H.A.:

Wirkungsmechanismus von Fluorid nach Duraphat-Behandlung.

Dtsch Zahnärztl Z 1984; 39: 705-709.

40. Eanes, E.D.:

The influence of fluoride on the seeded growth of apatite from stable supersaturated solutions at pH 7,4.

J Dent Res 1980; 59: 144-150.

41. Eccles, J.D.:

Dental erosions of nonindustrial origin. A clinical survey and classification.

J Prosthet Dent 1979; 42: 649-653.

42. Edwards, M.; Ashwood, R.A.; Littlewood, S.J.; Brocklebank, L.M.; Fung, D.E.:

A videofluoroscopic comparison of straw and cup drinking: the potential influence on dental erosion.

Br Dent J 1998; 185: 244-249.

43. Ganss, C.; Schlechtriemen, M.; Klimek, J.:

Dental erosions in subjects living on a raw food diet.

Caries Res 1999a; 33: 74-80.

44. Ganss, C.; Klimek, J.; Westerfeld, F.:

Effect of toothbrush abrasion on dental erosion in vitro.

Caries Res 1999b; 33: 325 (Abstr.).

45. Ganss, C.; Klimek, J.; Schwarz, N.:

A comparative profilometric in vitro study of the susceptibility of polished and natural human enamel and dentine surfaces to erosive demineralisation.

Arch Oral Biol 2000; 45: 897-902.

46. Ganss, C.; Klimek, J.; Giese, K.:

Dental erosion in children and adolescents – a cross-sectional and longitudinal investigation using study models.

Community Dent Oral Epidemiol 2001a; 29: 1-8.

47. Ganss, C.; Klimek, J.; Brune, V.:

Effektivität zweier Fluoridierungsmaßnahmen auf den erosiv bedingten Mineralverlust im Schmelz in situ.

Autoreferate-Band DGZ 2001b; 15: 106-107.

- 48. Ganss, C.; Klimek, J.; Schäffer, U.; Spall, T.:**
Effectiveness of two fluoridation measures on erosion progression in human enamel and dentin in vitro.
Caries Res 2001c; 35: 325-330
- 49. Ganss, C.; Klimek, J.; Assmann, T.:**
Prevalence of erosion based lesions in German recruits.
(in Vorbereitung zur Publikation 2004)
- 50. Geurtsen, W.:**
Rapid general dental erosion by gas-chlorinated swimming pool water.
Review of the literature and case report
Am J Dent 2000; 13: 291-293.
- 51. Giunta, J.L.:**
Dental erosion resulting from chewable vitamin C tablets.
JADA 1983; 107: 253-255.
- 52. Gregory-Head, B.L.; Curtis, D.A.; Kim, L.; Cello, J.:**
Evaluation of dental erosion in patients with gastroesophageal reflux disease.
J Prosthet Dent 2000; 83: 675-680.
- 53. Grenby, T.H.; Mistry, M.; Desai, T.:**
Potential dental effects of infants' fruit drinks studied in vitro.
Am J Nutr 1990; 64: 273-283.
- 54. Grobler, S.R.; Senekal, P.J.C.; Laubscher, J.A.:**
In vitro demineralisation of enamel by orange juice, apple juice, Pepsi Cola and diet Pepsi Cola.
Clin Prev Dent 1990; 12: 5-9.
- 55. Gron, P.; Caslavská, V.:**
Fluoride deposition in enamel from 0,8 M NaF application.
J Dent Res 1979; 54: (Abstr. No. 167).

56. Gülzow, H.-J.; Ganschow, C.; Mannes, C.:

Fluoridaufnahme der Schmelzoberfläche aus Zahnpasten mit unterschiedlichen Fluoridverbindungen.

Dtsch Zahnärztl Z 1993; 48: 112-114.

57. Haberman, J.P.; Cilley, W.A.; Sakkal, N.Y.:

Microanalysis for fluoride in sound enamel and in incipient carious lesions.

J Dent Res 1980; 59: 918.

58. Hannig, M.; Albers, H.-K.:

Die erosive Wirkung von Acetylsalicylsäure an Zahnschmelz und Dentin in vitro.

Dtsch Zahnärztl Z 1993; 48: 298-302.

59. Hannig, M.:

Elektronenmikroskopische Untersuchungen der initialen Bioadhäsionsprozesse an Festkörperoberflächen in der Mundhöhle.

Berlin Quintessenz, 1998.

60. Hannig, M.; Balz, M.:

Influence of in vivo formed salivary pellicle on enamel erosion.

Caries Res 1999; 33: 372-379.

61. Hannig, M.; Balz, M.:

Protective properties of salivary pellicles from two different intraoral sites on enamel erosion.

Caries Res 2001; 35: 142-148.

62. Harrison, J.L.; Roder, L.B.:

Dental erosion caused by cola beverages.

Gen Dent 1991; 39: 23-24.

63. Heifetz, S.B.; Mellberg, J.R.; Winter, S.J.; Doyle, J.:

In vivo fluoride uptake by enamel of teeth of human adults from various topical fluoride procedures.

Arch oral Biol 1970; 15: 1171-1181.

64. Hellwig, E.; Klimek, J.; Albert, G.:

In-vivo-Retention angelagerten und strukturell-gebundenen Fluorids in demineralisiertem Zahnschmelz.

Dtsch Zahnärztl Z 1989; 44: 173-176.

65. Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T.:

Einführung in die Zahnerhaltung

München: Urban und Fischer 1999; 40-45.

66. Hinds, K.; Gregory, J.R.:

National Diet and Nutrition Survey: children aged 1 ½ to 4 ½ years.

Volume 2: Report of the dental survey. Office of Population Censuses and Surveys. Her Majesty's Stationery Office, London 1995.

67. Hotz, P.R.:

Erosion des Zahnschmelzes.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 1987; 97: 219-222.

68. Hughes, J.A.; West, N.X.; Parker, D.M.; Newcombe R.G.; Addy M.:

Development and evaluation of a low erosive blackcurrant juice drink in vitro and in situ. 1. Comparison with orange juice.

J Dent 1999; 27: 285-289.

69. Imfeld, T.:

Acidogenic and erosive potential of soft drinks and mineral waters.

Monogr Oral Sci 1983; 11: 165-174.

70. Imfeld, T.:

Prevention of progression of dental erosion by professional and individual prophylactic measures.

Eur J Oral Sci 1996; 104: 215-220.

71. Jaeggi, T.; Schaffner, M.; Bürgin, W.:

Erosionen und keilförmige Defekte bei Rekruten der Schweizer Armee.

Schweiz Monatsschr Zahnmed. 1999; 109: 1171-1178.

72. Järvinen, V.K.; Meurman, J.H.; Hyvärinen, H.; Rytömaa, I.; Murtomaa, H.:
Dental erosion and upper gastrointestinal disorders.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1988; 65: 298-303.

73. Järvinen, V.K.; Rytömaa, I.I.; Heinonen, O.P.:
Risk factors in dental erosion.
J Dent Res 1991; 70: 942-947.

74. Johansson, A.K.; Lingström, P.; Birkhed, D.:
Comparison of factors potentially related to the occurrence of dental erosion
in high- and low-erosion groups
Eur J Oral Sci 2002; 110: 204-211.

75. Joysten-Bechal, S.; Duckworth, R.; Braden, M.:
The effect of artificially produced pellicle and plaque on the uptake of F by
human enamel in vitro.
Arch Oral Biol 1976; 21: 73.

76. Koulourides, T.:
Summary of session II : Fluoride and the caries process.
J Dent Res 1990; 69: 558.

77. Lagerlöf, F.; Saxegaard, E.; Barkvoll, P.; Rølla, G.:
Effects of inorganic orthophosphate and pyrophosphate on dissolution of calcium
fluoride in water.
J Dent Res 1988; 67: 447-449.

78. Lammers, P.C.; Borggreven, J.M.P.M.; Driessens, F.C.M.:
Acid-susceptibility of lesions in bovine enamel after remineralization at different pH
values and in the presence of different fluoride concentrations.
J Dent Res 1991; 70: 1486-1490.

79. Lammers, P.C.; Borggreven, J.M.P.M.; Driessens, F.C.M.:
Influence of fluoride and pH on in vitro remineralization of bovine enamel.
Caries Res 1992; 26: 8-13.

80. Larsen, M.J.; Lambrou, D.; Fejerskov, O.; Tachos, B.:

A study on accumulation and release of loosely bound fluoride on enamel.
Caries Res 1981; 15: 273-277.

81. Larsen, M.J.; Nyvad, B.:

Enamel erosion by some soft drinks and orange juices relative to their pH, buffering effect and contents of calcium phosphate.
Caries Res 1999; 33: 81-87.

82. Larsen, M.J.; Richards, H.:

The influence of saliva on the formation of calcium fluoride-like material on human dental enamel.
Caries Res 2001; 35: 57-60.

83. Larsen, M.J.; Richards, A.:

Fluoride is unable to reduce dental erosion from soft drinks.
Caries Res 2002; 36: 75-80.

84. Linkosalo, E.; Markkanen, H.:

Dental erosions in relation to lacto vegetarian diet.
Scand J Dent Res 1985; 93: 436-441.

85. Lussi, A.; Schaffner, M.; Hotz, P.; Suter, P.:

Dental erosion in a population of Swiss adults
Community Dent Oral Epidemiol 1991; 19: 286-290.

86. Lussi, A.; Jaeggi, T.; Schärer, S.:

The influence of different factors on in vitro enamel erosion.
Caries Res 1993; 27: 387-393.

87. Lussi, A.; Jaeggi, T.; Jaeggi-Schärer, S.:

Prediction of the erosive potential of some beverages.
Caries Res 1995; 29: 349-354.

88. Lussi, A.; Schaffner, M.:

Progression of and risk factors for dental erosion and wedge-shaped defects over a 6-year period.

Caries Res 2000a; 34: 182-187.

89. Lussi, A.; Kohler, N.; Zero, D.; Schaffner, M.; Megert, B.;

A comparison of the erosive potential of different beverages in primary and permanent teeth using an in vitro model.

Eur J Oral Sci 2000b; 108: 110-114.

90. Lussi, A.; Jaeggi, T.:

Die Abrasion erosiv veränderter Zahnhartsubstanz- eine Literaturübersicht.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 2002; 112: 629-634.

91. Mackie, I.C.; Hobson, P.:

Case reports: Dental erosion associated with unusual drinking habits in childhood.

J Paediatric Dent 1986; 2: 89-94.

92. Mäkinen, K.K.; Söderling, E.:

Solubility of calcium salts, enamel and hydroxyapatite in aqueous solution of simple carbohydrates.

Calcif Tissue Int 1984; 36: 64-71.

93. Mannerberg, F.:

Changes in the enamel surfaces in cases of erosion.

Arch Oral Biol 1961; 4: 59-62.

94. Mannerberg, F.:

Effect of lemon juice on different types of tooth surface.

Acta Odontol Scand 1962; 20: 153-164.

95. McCann, H.G.:

Determination of fluoride in mineralised tissue using the fluoride ion electrode.

Arch Oral Biol 1968; 13: 475-477.

96. Meitje, F.:

KOH-lösliches und festgebundenes Fluorid im Dentin nach Applikation des Fluoridlackes Duraphat in situ.
Dissertation Giessen, 2000.

97. Meurman, J.H.; Murtomaa, H.:

Effect of effervescent vitamin C preparations on bovine teeth and on some clinical and salivary parameters in man.
Scand J Dent Res 1986; 94: 491-499.

98. Meurman, J.H.; Rytømaa, I.; Kari, K.; Laakso, T.; Murtomaa, H.:

Salivary pH and glucose after consuming various beverages, including sugar-containing drinks.
Caries Res 1987; 21: 353-359.

99. Meurman, J.H.; Harkonen, M.; Naveri, H.; Koskinen, J.; Torkko, H.; Rytømaa, I.; Järvinen, V.; Turunen, R.:

Experimental sports drinks with minimal dental erosion effect.
Scand J Dent Res 1990; 98: 120-128.

100. Meurman, J.H.; Drysdale, T.; Frank, R.M. :

Experimental erosion of dentin.
Scand J Dent Res 1991; 99: 457-462.

101. Meurman, J.H.; Frank, R.M.:

Progression and surface ultrastructure of in vitro caused erosive lesions in human and bovine enamel.
Caries Res 1991; 25: 81-87.

102. Meurman, J.; Toskala J.; Nuutinen, P.; Klemetti, E.:

Oral and dental manifestations in gastroesophageal reflux disease.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1994; 78: 583-589.

103. Meurman, J.H.; ten Cate, J.M.:

Pathogenesis and modifying factors of dental erosion.
Eur J Oral Sci 1996; 104: 199-206.

104. Millward, A.; Shaw, L.; Smith, A.J.; Rippin, J.W.; Harrington, E.:

The distribution and severity of tooth wear and the relationship between erosion and dietary constituents in a group of children.

Inter J Paediat Dent 1994; 4: 151-157.

105. Millward, A.; Shaw, L.; Smith, A.:

Dental erosion in four-year-old children from differing socio-economic backgrounds.

J Dent Child 1994; 61: 263-266.

106. Millward, A.; Shaw, L.; Harrington, E.; Smith, A. J.:

Continuous monitoring of salivary flow rate and pH at the surface of the dentition following consumption of acidic beverages.

Caries Res 1997; 31: 44-49.

107. Milosevic, A.; Young, P.J.; Lennon, M.A.:

The prevalence of tooth wear in 14-year-old school children in Liverpool.

Comm Dent Hlth 1993; 11: 83-86.

108. Mok, Y.; Hill, F.J.; Newman, H.N.:

Enamel fluoride uptake affected by site of application: Comparing sodium and amine fluorides.

Caries Res 1990; 24: 11-17.

109. Munoz, C.A.; Feller, R.; Haglund, A.:

Strengthening of tooth enamel by a remineralizing toothpaste after exposure to an acidic soft drink.

J Clin Dent 1999; 10: 17-21.

110. Mühlemann, H.R.:

Zur Erosion des Zahnschmelzes.

Dtsch Zahnärztebl 1962; 16: 328-333.

111. Nelson, D.G.A.; Jongebloed, W.L.; Arends, J.:

Morphology of enamel surfaces treated with topical fluoride agents: SEM considerations.

J Dent Res 1983; 62: 1201-1208.

112. Nelson, G.D.A.; Jongbloed, W.L.; Arends, J.:

Crystallographic structure of enamel surfaces treated with topical fluoride agents :
TEM and XRD considerations.
J Dent Res 1984; 63: 6-12.

113. Nieuw Amerongen, A.V.; Oderkerk, C.H.; Driessen, A.A.:

Role of mucins from human whole saliva in the protection of tooth enamel against
demineralisation in vitro.
Caries Res 1987; 21: 297-309.

114. Noack, M.J.:

REM-Untersuchungen an Erosionen der Zahnhartsubstanzen in vivo.
Dtsch Zahnärztl. Z 1989; 44: 517-520.

115. Nunn, J.H.:

Prevalence of dental erosion and the implications for oral health.
Eur J Oral Sci 1996; 104: 156-161.

116. O'Brien, M.:

Children Dental Health in the United Kingdom 1993.
Office of Population Censuses and Surveys 1994.
Her Majesty's Stationery Office, London.

117. Øgaard, B.; Rølla, G.; Helgeland, K.:

Alkali soluble and alkali insoluble fluoride retention in demineralised enamel in vivo.
Scand J Dent Res 1983; 91: 200-204.

118. Øgaard, B.:

Applicability of acid-etching techniques for fluoride determination on enamel after
topical fluoride treatment.
Acta Odontol Scand 1988; 46: 337-340.

119. Öhrn, R.; Enzell, K.; Angmar-Mansson, B.:

Oral status of 81 subjects with eating disorders.
Eur J Oral Sci 1999; 107: 157-163.

120. Öhrn, R.; Angmar-Mansson, B.:

Oral status of 35 subjects with eating disorders- A 1-year study.
Eur J Oral Sci 2000; 108: 275-280.

121. Parry, J.; Shaw, L.; Arnaud, M.J.; Smith, A.J.:

Investigation of mineral waters and soft drinks in relation to dental erosion.
J Oral Rehabil 2001; 28: 766-772.

122. Petersen, P.E.; Gormsen, C.:

Oral conditions among German battery factory workers
Community Dent Oral Epidemiol 1991; 19: 104-106

123. Petzold, M.:

The influence of different fluoride compounds and treatment conditions on dental enamel:
A descriptive in vitro study of the CaF₂ precipitation and microstructure.
Caries Res 2001; 35: 45-51.

124. Pindborg, J.J.:

Pathology of the dental hard tissues.
Munksgaard, Copenhagen 1970; 312-325.

125. Reintsema, H.; Lodding, A.; Arends, J.:

Fluoridation of partially demineralised human enamel in vivo.
Caries Res 1986; 20: 419-423.

126. Robb, N.D.; Smith, B.G.N.:

Prevalence of pathological tooth wear in patients with chronic alcoholism.
Br Dent J 1990; 196: 367-369.

127. Robb, N.D.; Smith, B.G.N.; Geidrys-Leeper, E.:

The distribution of erosion in the dentitions of patients with eating disorders.
Br Dent J 1995; 178: 171-175.

128. Robinson, C.; Kirkham, J.; Weatherell, J.A.:

Fluoride in teeth and bone; in Fejerskov Ö., Ekstrand J., Burt B.A. (eds):
Fluoride in Dentistry.
Munksgaard, Copenhagen, 1996, 69-87.

129. Rølla, G.:

On the role of calcium fluoride in the cariostatic mechanism of fluoride.
Acta Odontol Scand 1988; 46: 341-345.

130. Rølla, G.; Saxegaard, E.:

Critical evaluation of the composition and use of topical fluorides, with emphasis
on the role of calcium fluoride in caries inhibition.
J Dent Res 1990; 69: 780-785.

131. Rølla, G.; Øgaard, B.; Cruz, R.:

Topical application of fluoride on teeth.
J Clin Periodontol 1993; 20: 105-108.

132. Rudolph, L.:

Stabilität von Kalziumfluorid ähnlicher Deckschichten auf dem Zahnschmelz
unter erosiven Bedingungen in vitro und in situ.
Dissertation Giessen, 2001.

133. Rytømaa, I.; Meurman, J.H.; Koskinen, J.; Laakso, T.; Gharazi, L.; Turner, R.:

In vitro erosion of bovine enamel caused by acidic drinks and other foodstuffs.
Scand J Dent Res 1988; 11: 23-28.

134. Rytømaa, I.; Järvinen, V.; Kanerva, R.; Heinonen, O.P.:

Bulimia and tooth erosion.
Acta Odontol Scand 1998; 56: 36-40.

135. Sakakab, N.Y.; Cilley, W.A.; Haberman, J.P.:

Fluoride in deciduous teeth from an anti-caries clinical study.
J Dent Res 1984; 63: 1201-1205.

136. Saxegaard, E.; Lagerlöf, F.; Rølla, G.:

Dissolution of calcium fluoride in human saliva.
Acta Odontol Scand 1988; 46: 355-359.

137. Saxegaard, E.; Rølla, G.:

Fluoride acquisition on and in human enamel during topical application in vitro.
Scand J Dent Res 1988; 96: 523-535.

138. Scheutzel, P.; Meermann, R.:

Die Zusammenarbeit von Zahnarzt und Psychiater bei der Diagnose und Therapie psychogener Essstörungen.
Jahrb Psychol Psychosom Zahnheilk 1991; 2: 231-239.

139. Scheutzel, P.:

Zahnmedizinische Befunde bei psychogenen Essstörungen.
Dtsch Zahnärztl Z 1992; 47: 119-123.

140. Scheutzel, P.; Meermann, R.:

Anorexie und Bulimie aus zahnärztlicher Sicht.
München: Urban und Schwarzenberg 1994; 64-78.

141. Scheutzel, P.:

Etiology of dental erosion – intrinsic factors.
Eur J Oral Sci 1996; 104: 178-190.

142. Schiffner, U.; Meyberg, F.:

Aufnahme und Abgabe von Fluorid an der Schmelzoberfläche nach Fluoridierung.
Dtsch Zahnärztl Z 1989; 44: 237-239.

143. Schweitzer-Hirt, C.M.; Schait, A.; Schmid, R.; Imfeld, T.; Lutz, F.; Mühlemann, H.R.:

Erosion und Abrasion des Schmelzes. Eine experimentelle Studie.
Schweiz Monatsschr Zahnheilkunde 1978; 88: 497-529.

144. Shaw, L.; Weatherill, S.; Smith, A.:

Tooth wear in children: An investigation of etiological factors in children with cerebral palsy and gastroesophageal reflux.

J Dent Child 1998; 65: 484-486.

145. Simons, M.; Thompson, D.C.:

Dental erosion secondary to ethanol-induced emesis.

Oral Surg Oral Med Pathol 1987; 64: 731-733.

146. Slomiany, B.L.; Murty, V.L.N.; Zdebska, A.; Slomiany, A.; Gwozdzinski, K.; Mandel, I.D.:

Tooth surface-pellicle lipids and their role in the protection of dental enamel against lactic-acid diffusion in man.

Arch oral Biol 1986; 31: 187-191.

147. Smith, A.J.; Shaw, L.:

Baby fruit juice and tooth erosion.

Br Dent J 1987; 162: 65-67.

148. Smith, A.J.; Shaw, L.:

Comparisons of rates of clearance of glucose from various oral sites following drinking with a glass feeder cup and straw.

Med Sci Res 1993; 21: 617-619.

149. Sognnaes, R.F.; Wolcott, R.B.; Xhonga, F.A.:

Dental erosion I: erosion-like patterns occurring in association with other dental conditions.

JADA 1972; 84: 571-576.

150. Sorvari, R.; Kiviranta, I.; Luoma, H.:

Erosive effect of a sport drink mixture with and without addition of fluoride and magnesium on the molar teeth of rats.

Scand J Dent Res 1988; 96: 226-231.

151. Sorvari, R.; Meurman, J.H.; Alakuijala, P.; Frank, R.M.:

Effect of fluoride varnish and solution on enamel erosion in vitro.

Caries Res 1994; 28: 227-232.

152. Sullivan, R.E.; Kramer, W.S.:

Iatrogenic erosion of teeth.

J Dent Child 1983; 50: 192-196.

153. Takagi, S.; Chow, L.C.; Sieck, B.A.:

Deposition of loosely bound and firmly bound fluorides on tooth enamel by an acidic gel containing fluorosilicate and monocalcium phosphate monohydrate

Caries Res 1992; 26: 321-327.

154. Takeuchi, K.; Nakagaki, H.; Toyama, G.; Kimata, N.; Ito, F.; Robinson, C.; Weatherell, J. A.; Stosser, L.; Kunzel, W.:

Fluoride concentrations and distribution in premolars of children from low and optimal fluoride areas.

Caries Res 1996; 30: 76-82.

155. Taylor, G.; Taylor, S.; Abrams, R.; Mueller, W.:

Dental erosion associated with asymptomatic gastroesophageal reflux.

J Dent Child 1992; 59: 182-185.

156. Tenovuo, J.; Rekola, M.:

Some effects of sugar-flavoured acid beverages on the biochemistry of human whole saliva and dental plaque.

Acta Odontol Scand 1977; 35: 317-330.

157. Tuominen, M.L.; Tuominen, R.J.; Fubusa, F.; Mgalula, N.:

Tooth surface loss and exposure to organic acid fumes in workplace air.

Community Dent Oral Epidemiol 1991; 19: 217-220.

158. Tuominen, M.; Tuominen, R.:

Dental erosion and associated factors among factory workers exposed to inorganic acid fumes.

Proc Finn Dent Soc 1991; 87: 359-364.

159. West, N.X.; Hughes, J.A.; Parker, D.M.; Newcombe, R.G.; Addy, M.:

Development and evaluation of a low erosive blackcurrant juice drink.

2. Comparison with a conventional blackcurrant juice drink and orange juice.

J Dent 1999; 27: 341-344.

- 160. Wiktorsson, A.M.; Zimmerman, M.; Angmar-Mansson, B.:**
Erosive tooth wear: prevalence and severity in Swedish wine tasters.
Eur J Oral Sci 1997; 105: 544-550.
- 161. Wruble, D.; Rosenthal, R.H.; Webb, W.L.:**
Psychogenic vomiting: A review.
Am J Gastroenterol 1982; 77: 318-321.
- 162. Xhonga, F.A.; Valdmanis, S.:**
Geographic comparisons of the incidence of dental erosion: a two centre study.
J of Oral Rehab 1983; 10: 269-277.
- 163. Zahradnik, R.I.; Moreno, E.C.; Burka, E.J.:**
Effect of salivary pellicle on enamel subsurface demineralisation in vitro.
J Dent Res 1976; 55: 664-670.
- 164. Zero, D.T.:**
Etiology of dental erosion – extrinsic factors.
Eur J Oral Sci 1996; 104: 162-177.
- 165. Zimmer, S.:**
Fluoridverbindungen: Wirkungsweise und Wirksamkeit.
Prophylaxe Dialog 1997; 2: 1.
- 166. Zipkin, J.; Mc Clure, F.J.:**
Salivary citrate and dental erosion.
J Dent Res 1949; 28: 613-626.

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind, und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Giessen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

8 Anhang

8.1 Danksagung

Herrn Prof. Dr. Joachim Klimek, Leiter der Abteilung Zahnerhaltungskunde und Präventive Zahnheilkunde des Medizinischen Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde des Klinikums der Justus-Liebig-Universität Gießen danke ich für die Überlassung des Themas dieser Arbeit. Bedanken möchte ich mich ebenfalls für die Unterstützung und Betreuung bei der Durchführung der Studie bei Priv. Doz. Frau Dr. Carolina Ganss, Oberärztin in oben genannter Abteilung.

Des weiteren möchte ich mich bei Frau Birgit Meier wissenschaftliche Mitarbeiterin des Medizinischen Zentrums der Justus-Liebig Universität Gießen, bedanken für ihre freundliche Unterstützung. Sowie meinen Kollegen Martin Kopp, Andreas Littwin und seiner Frau Kirsten Littwin, dass sie sich als Probanden zur Verfügung gestellt haben und für ihre zuverlässige und geduldige Mitarbeit. Herrn Jens Belzer, meiner Freundin Martina Hofebauer und Andreas Vouß danke ich für ihre kompetente Hilfe in Computerangelegenheiten.

Abschließend möchte ich mich noch bei meinen Eltern bedanken für ihre Unterstützung und tatkräftige Hilfe beim Kopieren der Literatur und meinen Freunden Frank Renne und Thomas Krzizok für die Zeit, die sie geopfert haben zum Korrekturlesen dieser Arbeit.

8.2 Lebenslauf

Name: Simone Jung

Wohnort: Am Keuschenend 22
50170 Kerpen

Geburtsdatum: 15. März 1973

Geburtsort: Köln

Schulbildung: 1979-83 Grundschule Mühlenfeld, Sindorf
1983-89 Mädchen-Realschule, Horrem
Mater Salvatoris
1989-92 Gutenberg-Gymnasium, Bergheim

Berufsausbildung: 1992 – 1996 Ausbildung zur Zahntechnikerin
mit Abschluss der Gesellenprüfung

Studium: 1996-2001 Studium der Zahnheilkunde an der
Justus-Liebig-Universität Giessen
1997 Naturwissenschaftliche Vorprüfung
1999 Zahnärztliche Vorprüfung
2001 Zahnärztliche Prüfung mit Staatsexamen und
Approbation als Zahnärztin

Berufspraxis: Seit 2002 Assistenz Zahnärztin